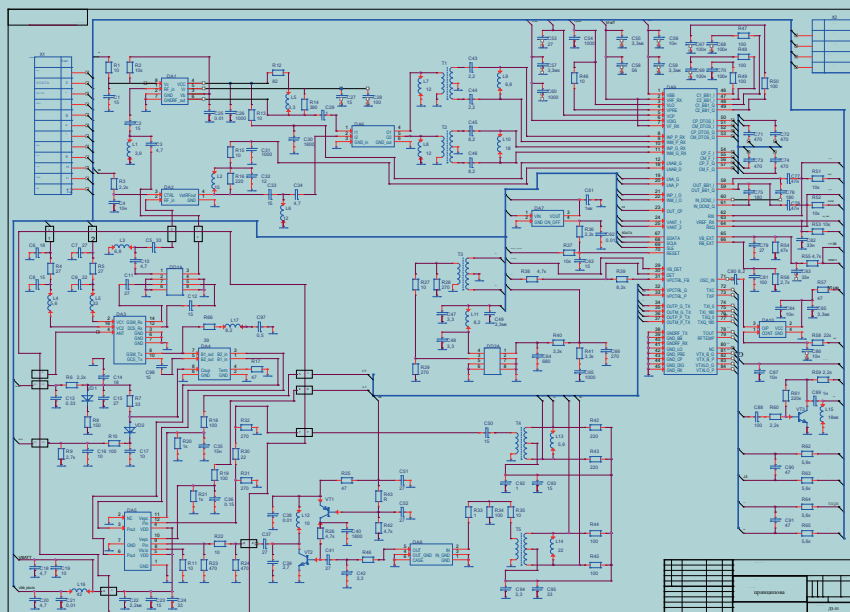
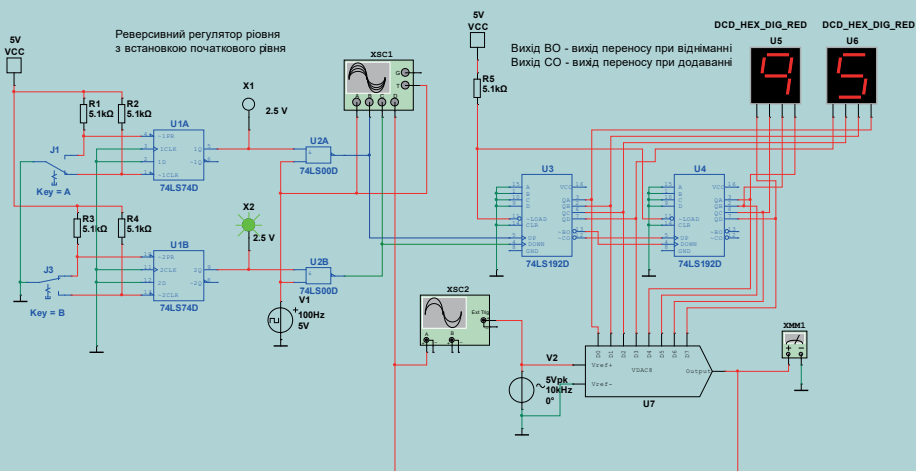


Макаренко В.В.

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

В.В. Макаренко

**ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються
за спеціальністю 171 "Електроніка"
спеціалізації "Електронні системи мультимедіа
та засоби Інтернету речей"

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Рецензенти:

Коржик О.В., д.т.н., професор

Прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання

Відповідальний редактор:

Трапезон К.О., к.т.н., доцент

Прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від 30.05 2019 р.)
за поданням Вченої ради факультету (протокол № 04/2019 від 26/04 2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Макаренко Володимир Васильович, канд. техн. наук, доц.

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Програмні засоби проектування: Лабораторний практикум: комп'ютерний практикум для студ. спеціальності 171 "Електроніка" спеціалізації "Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей" / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8.46 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 122 с.

У навчальному посібнику наведені теоретичні відомості та методика дослідження пристроїв цифрової та аналогової техніки, правила та приклади оформлення структурних та функціональних схем, правила та приклади створення бібліотек елементів та принципів схем радіоелектронних пристроїв за допомогою програм моделювання, векторної графіки та системи автоматизованого проектування Orcad.

Створення структурних і функціональних схем, а також інших креслень, розглядається на прикладах з використанням програми Visio, а моделювання радіоелектронних пристроїв – за допомогою програми NI Multisim. Наведені приклади моделей для дослідження цифрових та аналогових електронних пристроїв за допомогою програми Multisim.

© В.В. Макаренко 2019

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Лабораторна робота №1 Робота з вимірювальними пристроями Multisim	7
1.1 Короткі теоретичні відомості.....	7
1.1.1 Вимірювальні пристрої.....	7
1.1.2 Правила роботи з осцилографом	11
1.1.3 Правила роботи з Бode-плотером	13
1.1.4 Правила роботи з логічним аналізатором (Logic Analyzer)	17
1.1.5 Правила роботи з генератором слів (Word Generator).....	19
1.2 Мета та порядок проведення лабораторної роботи №1	24
1.3 Мета та порядок проведення лабораторної роботи №2	25
1.4 Домашнє завдання.....	26
1.5 Контрольні питання	26
Література	26
Лабораторна робота №3 Дослідження обмежувачів напруги.....	28
3.1 Теоретичні відомості.....	28
3.1.1 Загальні відомості про обмежувачі напруги	28
3.1.2 Характеристики напівпровідникових діодів	29
3.1.3 Односторонні обмежувачі без зміщення	30
3.1.4 Односторонні обмежувачі зі зміщенням	31
3.1.5 Двосторонні обмежувачі без зсуву.....	32
3.1.6 Двосторонні обмежувачі зі зміщенням.....	33
3.1.7 Формування напруги зміщення від джерела живлення	34
3.2 Мета роботи	36
3.3 Домашнє завдання.....	37
3.4 Порядок виконання роботи	38
3.4.1 Завдання 1	38
3.4.2 Завдання 2	39
3.5 Контрольні запитання	40
Література	40
Лабораторна робота №4 Дослідження входних кіл аналогових та цифрових пристроїв.....	41
4.1 Теоретичні відомості.....	41
4.1.1 Загальні зауваження.....	41

4.1.2 Класифікація та основні параметри операційних підсилювачів	41
4.1.4 Зв'язок між коефіцієнтом підсилення та смугою пропускання	46
4.2 Загальні відомості про компаратори напруги	49
4.3 Мета роботи	54
4.4 Домашнє завдання і порядок виконання роботи.....	54
4.4.1 Завдання 1	54
4.4.2 Порядок виконання завдання 1	55
4.4.3 Завдання 2	56
4.4.4 Порядок виконання завдання 2.....	57
Література	57
Лабораторна робота №5 Основи роботи в Visio	58
5.1 Теоретичні відомості.....	58
5.1.1 Групування елементів.....	58
5.1.2 Стрілки та лінії.....	59
5.2 Мета роботи	62
5.3 Завдання	62
5.4 Порядок виконання роботи	62
5.5 Контрольні запитання	66
5.6. Оформлення звіту.....	66
Література	67
Лабораторна робота №6 Створення та редагування елементів принципових схем у відповідності до ЄСКД у САПР ORCAD	68
6.1 Теоретичні відомості.....	68
6.1.1 Умовні графічні позначення радіоелементів.....	68
6.1.2 Розробка бібліотек простих елементів у програмі Orcad.....	73
6.1.3 Створення та редагування елементів, що складаються з декількох частин.....	77
6.2 Мета роботи	83
6.3 Завдання	84
6.4 Порядок виконання роботи	85
6.5 Контрольні запитання	85
6.6 Оформлення звіту.....	86
Література	86
Лабораторна робота №7 Створення та редагування принципових схем.....	87
7.1 Теоретичні відомості.....	87
7.1.1 Підготовка робочого листа і штампа	87

7.1.2 Розміщення елементів принципової схеми	90
7.1.3 Загальні правила виконання електричних принципових схем	97
7.2 Мета роботи	104
7.3 Завдання	104
7.4 Порядок виконання роботи	108
7.5 Контрольні запитання	109
7.6 Оформлення звіту.....	109
Література	109
Лабораторна робота №8 Дослідження роботи цифро-аналогових перетворювачів та пристроїв вибірки-зберігання	111
8.1 Теоретичні відомості.....	111
8.1.1 Пристрої вибірки-зберігання	111
8.1.2 Цифро-аналогові перетворювачі	114
8.2 Мета роботи	116
8.3 Завдання	116
8.3.1 Завдання 1	116
8.3.2 Завдання 2	117
8.3.3 Завдання 3	117
8.4 Порядок виконання роботи	118
8.4.1 Завдання 1. При дослідженні виконати наступні пункти:	118
8.4.2 Завдання 2. При дослідженні виконати наступні пункти:	119
8.4.3 Завдання 3. При дослідженні виконати наступні пункти:	119
8.5 Контрольні запитання	119
8.6 Оформлення звіту.....	120
Література	120

ВСТУП

Навчальний посібник "Програмні засоби проектування. Лабораторний практикум" забезпечує цикл професійної підготовки бакалаврів спеціальності 171 "Електроніка" спеціалізації: "Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей". Навчальний посібник складено у відповідності до навчальної та робочої програм дисципліни "Програмні засоби проектування" та затверджено деканом факультету електроніки (ФЕЛ) НТУУ ім. Ігоря Сікорського.

Матеріал, що міститься у посібнику, дозволить не тільки познайомити студентів з правилами та теоретичними відомостями для розробки і оформлення документації на принципові схеми електронних пристроїв, а і на практичних прикладах дати їм можливість реалізувати набуті знання. Наведені приклади виконання схем і створення бібліотек елементів, а також числені приклади моделей різних електронних пристроїв та вузлів, дозволять більш детально ознайомитись з процесом розробки та аналізу роботи електронних пристроїв при безпосередній участі студентів..

Мета навчального посібника полягає в закріпленні набутих при вивченні лекційного матеріалів знань, навчити студентів правильно оформляти структурні, функціональні та принципові схеми електронних пристроїв, аналізувати роботу електронних пристроїв за допомогою імітаційного моделювання.

У цьому виникає необхідність тому, що для проектування навіть нескладних електронних пристроїв необхідно розуміння процесів, що відбуваються як в окремих його частинах, так і в пристрої в цілому. Так як більшість студентів не можуть перевірити роботу електронних пристроїв на фізичних макетах, то для засвоєння принципів роботи основних цифрових і аналогових пристроїв доцільно провести моделювання їх роботи за допомогою програми-симулятора. Для цих цілей використовується безоплатна версія, найбільш зручної з точки зору інтерфейсу користувача, програма схемотехнічного моделювання NI Multisim Analog Devices Edition.

Нозроблений цикл лабораторних робіт, дозволяє закріпити матеріал, який вивчається в рамках курсу, набуті навичок роботи з вимірювальною апаратурою різного призначення (хоча і віртуальною) і освоїти методику організації і проведення експериментів у відповідності з поставленим завданням.

Лабораторна робота №1

Робота з вимірювальними пристроями Multisim

1.1 Короткі теоретичні відомості

1.1.1 Вимірювальні пристрої

У програмі Multisim для вимірювання струмів та напруги, АЧХ та ФЧХ, спектрів, частоти та інших параметрів сигналів передбачено багато інструментів, які за правилами використання і органами управління відповідають реальним електронним вимірювальним пристроям. На рис. 1.1 наведені позначення віртуальних пристроїв програми.

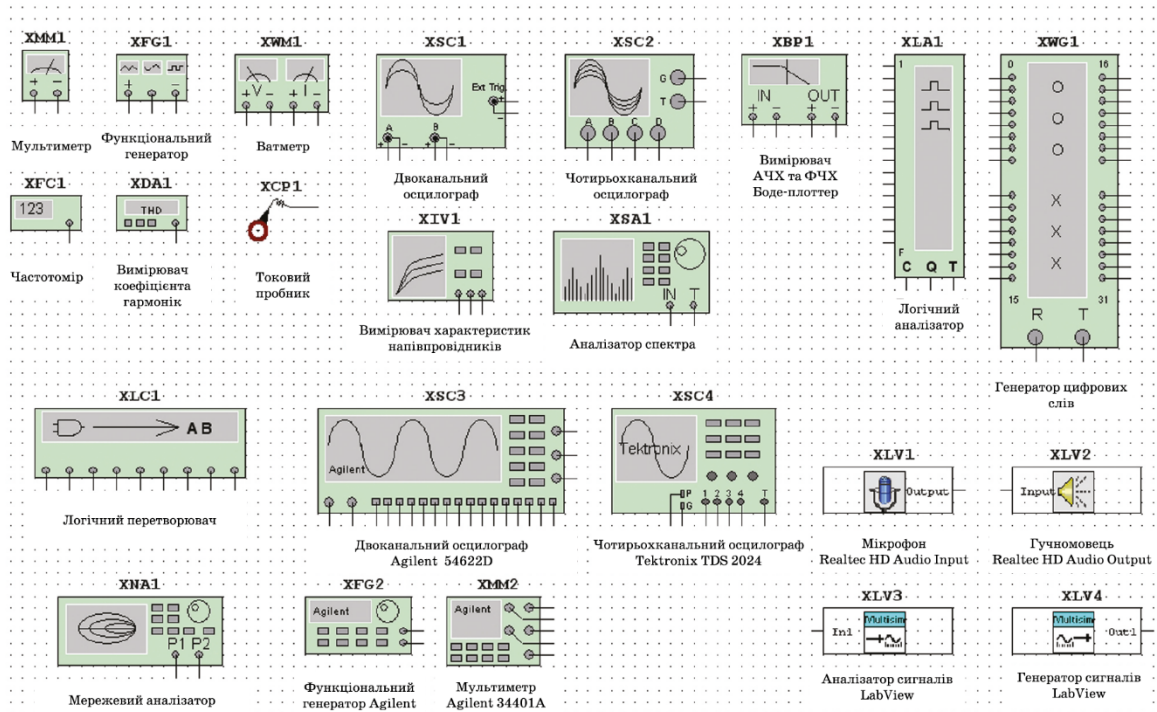


Рисунок 1.1 – Віртуальні вимірювальні прилади програми Multisim

Кожен з віртуальних приладів має безліч параметрів, з якими ми будемо знайомитися в міру необхідності. Для аналізу схеми обмежимося поки трьома приладами:

- функціональним генератором в якості джерела вхідного сигналу;
- двоканальним осцилографом для аналізу форми сигналу на вході і виході фільтра;
- пристроєм для вимірювання АЧХ і ФЧХ – Боде-плоттером (Bode Plotter).

Для розміщення приладу досить клацнути лівою кнопкою “миші” на піктограмі приладу, розміщеної з правого боку робочого вікна програми, і перетягнути зображення в потрібне місце аркуша.

Для того, щоб на екрані осцилографа вхідний і вихідний сигнали відображалися різним кольорами необхідно поміняти колір лінії, яка підводиться до другого входу осцилографа. Для цього виділяють лінію клацанням лівої кнопки “миші” і потім натискають праву кнопку. У контекстному меню потрібно вибрати пункт **Change Color**. Найпростіша схема ФНЧ з підключеними приладами показана на рис. 1.2.

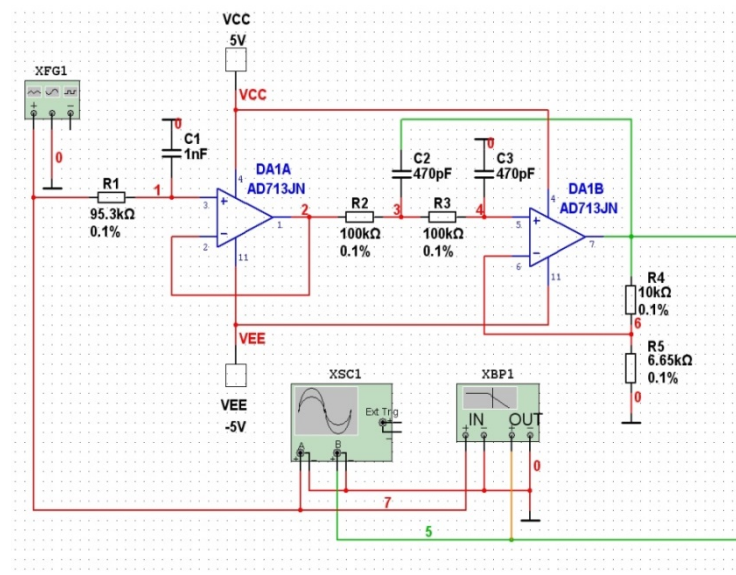


Рисунок 1.2 – Схема ФНЧ з підключеними вимірювальними приладами

Після цього можна задати параметри випробувального сигналу. Для цього необхідно клацнути на зображенні приладу лівою кнопкою “миші”. У вікні налаштовуємо параметри сигналу на виході функціонального генератора (рис. 1.3). Можна вибрати форму сигналу: синус, трикутник, прямокутник. Частота сигналу задається в рядку **Frequency** в діапазоні від 1 фГц до 10^3 ТГц. Амплітуда в діапазоні від 1 фВ до 10^3 ТВ. Напряга зсуву задається в тому ж діапазоні. За замовчуванням на виході генератора формується двохполярна напруга. Наприклад, задана амплітуда 10 В для гармонійного сигналу. На виході генератора буде сформований сигнал з позитивною амплітудою 10 В і негативною такої ж величини. Якщо потрібно сформуванати однополярний сигнал (наприклад, прямокутні імпульси амплітудою 5 В), потрібно задати амплітуду сигналу рівну половині необхідної (для прикладу 2,5 В) і задати позитивний зсув +2,5 В.

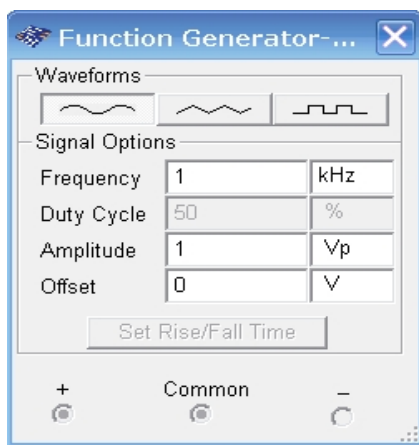


Рисунок 1.3 – Налаштування параметрів сигналу функціонального генератора

Після цього приступаємо до аналізу роботи схеми. Для цього достатньо натиснути на зелений трикутник, або натиснути вимикач, розташований у правій верхній частині робочого вікна програми, або через меню **Simulate** викликати команду **Run**.

Проконтролюємо форму сигналу на вході і виході фільтра за допомогою осцилографа. Так як коефіцієнт підсилення фільтра (за розрахунком) дорівнює 2,5, а розмах вхідної напруги дорівнює 1 В, встановимо чутливість каналу А осцилографа 1 В/поділ, а каналу В – 2 В/поділ. Форма сигналу на вході і виході ФНЧ показана на рис. 1.4. Для рознесення сигналів на екрані осцилографа по вертикалі вводимо зміщення Y position в каналі А рівне +1,6 В, а в каналі В – -1,4 В.

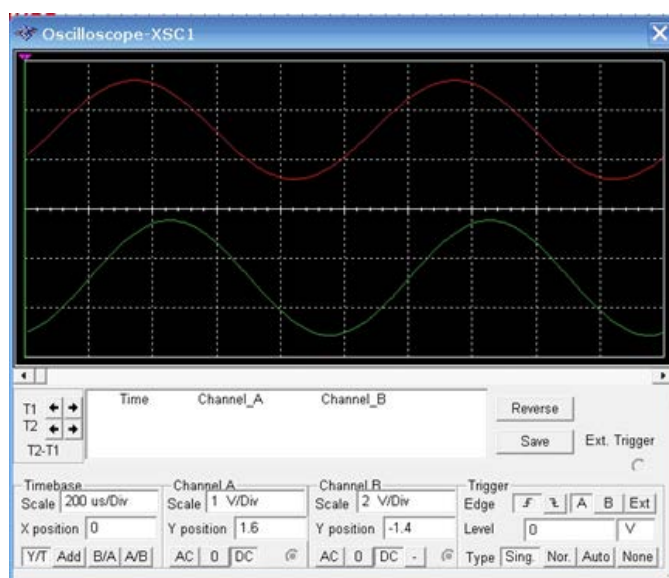


Рисунок 1.4 – Форма сигналу на вході (червоний), а на виході (зелений) ФНЧ

Після цього можна здійснити перевірку АЧХ і ФЧХ спроектованого фільтра за допомогою Bode Plotter. Отримана в результаті моделювання АЧХ наведена на рис. 1.5., а ФЧХ – на рис. 1.6. Крім того, можна зберегти файл з результатами вимірювання АЧХ і

ФЧХ. Файл з розширенням .bod являє собою текстовий файл, фрагмент якого показаний на рис. 1.7. Аналіз результатів показав, що максимальна нерівномірність АЧХ в смузі пропускання трохи менше 1 дБ, що цілком задовольняє поставленим умовам.

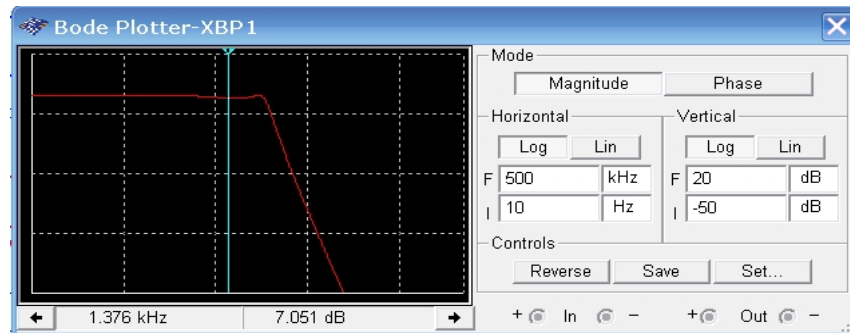


Рисунок 1.5 – Форма АЧХ змодельованого ФНЧ

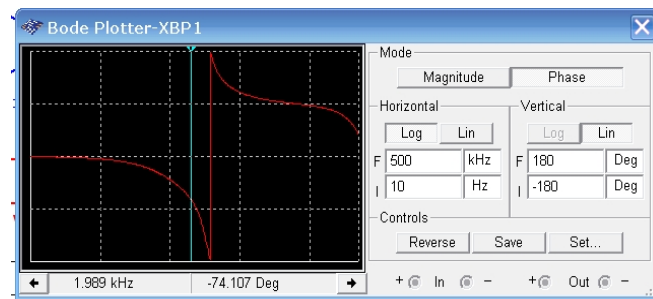


Рисунок 1.6 – Форма ФЧХ змодельованого ФНЧ

Bode data: BOD

column 1 Frequency (Hz)

column 2 Gain (dB)

column 3 Gain (Linear)

column 4 Phase (Deg)

trace name: Bode Result

Color: 255

Gain_Range_Start: 3.162278e-003

Gain_Range_End: 1.000000e+001

Phase_Range_Start: -1.800000e+002

Phase_Range_End: 1.800000e+002

Frequency	Gain (dB)	Gain	Phase
1.00000e+001	7.97149e+000	2.50365e+000	-4.27497e-001
1.02329e+001	7.97148e+000	2.50365e+000	-4.37454e-001
1.04713e+001	7.97148e+000	2.50365e+000	-4.47644e-001
1.07152e+001	7.97148e+000	2.50365e+000	-4.58071e-001
1.09648e+001	7.97147e+000	2.50365e+000	-4.68740e-001

```

1.12202e+001 7.97147e+000 2.50365e+000 -4.79658e-001
1.14815e+001 7.97146e+000 2.50365e+000 -4.90831e-001
1.17490e+001 7.97146e+000 2.50365e+000 -5.02263e-001
1.20226e+001 7.97145e+000 2.50364e+000 -5.13962e-001
1.23027e+001 7.97144e+000 2.50364e+000 -5.25934e-001
1.25893e+001 7.97144e+000 2.50364e+000 -5.38184e-001
-----

```

Рисунок 1.7 – Фрагмент текстового файлу з результатами моделювання

1.1.2 Правила роботи з осцилографом

У програмі Multisim доступні 4 типи осцилографів. Розглянемо особливості роботи з двох- і чотирьохканальними осцилографами. Органи управління двоканальним осцилографом показані на рис. 1.8.

Масштаб зображення по вертикалі регулюється дискретно в кожному каналі незалежно органами регулювання чутливості входу. Масштаб зображення по горизонталі – тривалістю розгортки. У кожному каналі передбачена можливість зсуву зображення по вертикалі як вгору, так і вниз. Зсув по горизонталі здійснюється за допомогою зміни значення “X position”.

Щоб зображення не зміщувалося по горизонталі необхідно синхронізувати розгортку осцилографа з початком чергового періоду сигналу. Для синхронізації переважно обирати режим “Nor” і задавати рівень синхронізації в рядку “Level” рівний від 10 до 50% амплітуди сигналу, яким здійснюється синхронізація. Це може бути сигнал каналу А або В (по фронту або спаду), а також сигнал зовнішнього джерела сигналу, що підключається до входу “Ext Trg”.

При дослідженні сигналів різної частоти для синхронізації слід обирати сигнал з самою низькою частотою.

У чотирьохканальному осцилографі замість роздільних вікон регулювання чутливості і зміщення по вертикалі використовується одне вікно і перемикач каналів (рис. 1.9). Для регулювання в необхідному каналі треба встановити покажчик (біла рисочка) на потрібну букву і задати параметри в обраному каналі. Аналогічно здійснюється регулювання і в інших каналах.

Вимірювання параметрів сигналу в будь якій точці (наприклад, амплітуда і часовий інтервал від початку розгортки) можна здійснювати як по поділкам, нанесеним на екрані, так і за допомогою курсорів (зелений і жовтий трикутники у верхній частині екрана

осцилографа. Досить перемістити курсор в потрібну точку екрану і у вікні виводу значень параметрів в точці розміщення курсора прочитати покази (рис. 1.10).

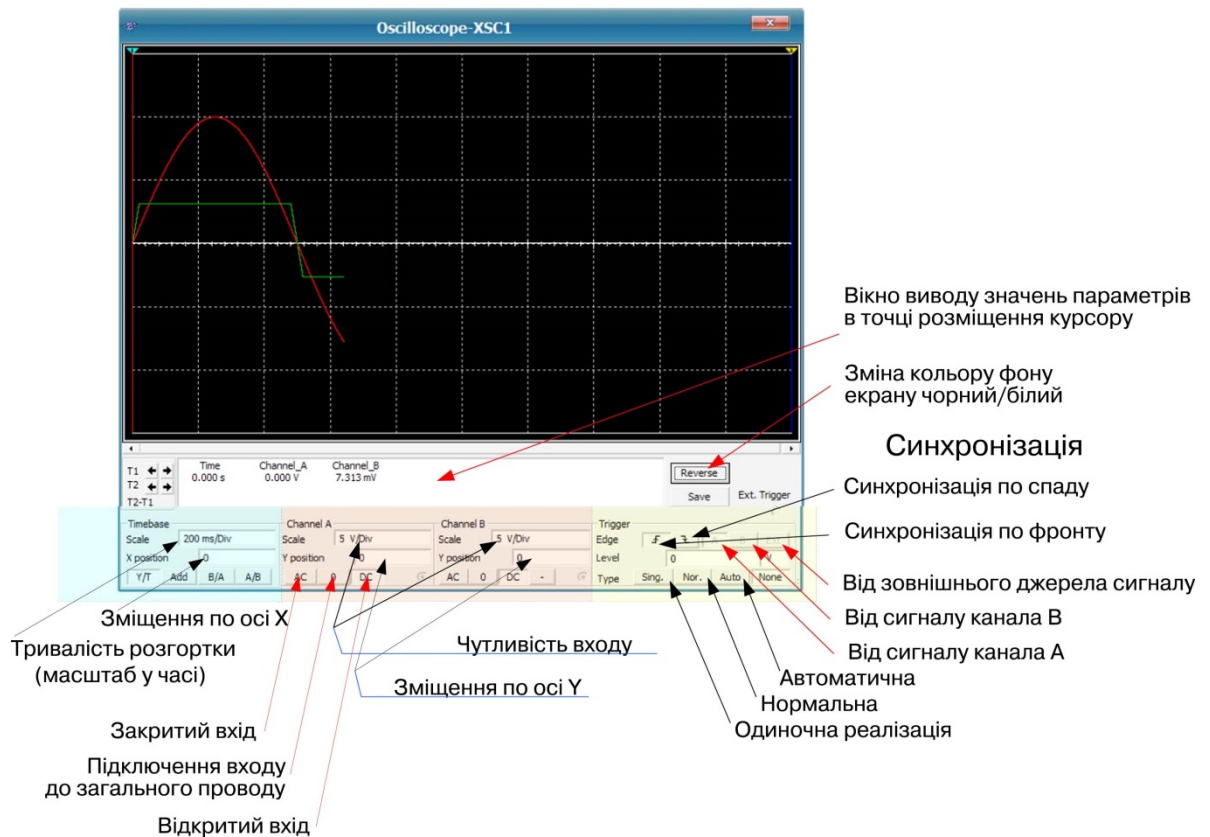


Рисунок 1.8 – Органи управління двоканальним осцилографом

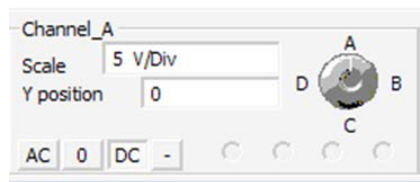


Рисунок 1.9 – Органи управління чутливістю чотирьохканального осцилографа

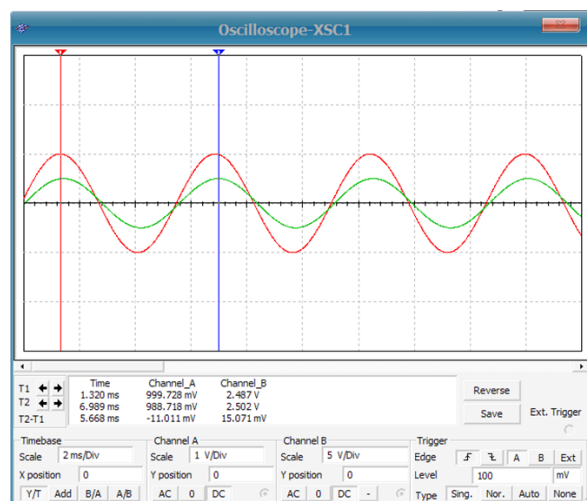


Рисунок 1.10 – Вимірювання параметрів сигналу в точці позначеною курсором

Як випливає з рисунку, напруга в точці, що помічена червоним курсором 999,728 мВ для каналу А і 2,487 В для каналу В, а в точці, що помічена синім курсором – 988,718 мВ і 2,502 В, відповідно. У нижньому рядку вказується часовий інтервал між курсорами і різниця напруги, виміряних в цих точках.

1.1.3 Правила роботи з Бode-плотером

Схема підключення Бode-плотера до чотирьохполюсника наведена на рис. 1.11.

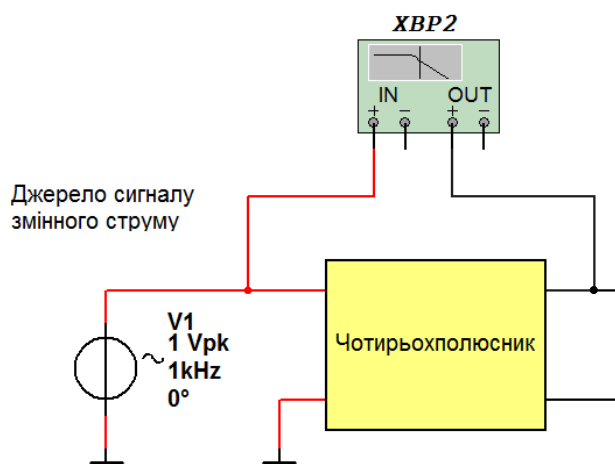


Рисунок 1.11 – Схема підключення Бode-плотера для вимірювання АЧХ та ФЧХ

Щоб не робити непотрібних з'єднань на схемі **треба пам'ятати що загальний провід у всіх віртуальних приладах "умовно" під'єднаний до загального проводу схеми**. Хоча на схемі (рис. 1.11) і відсутній видимий зв'язок входів, що відповідають загальному проводу Бode-плотера (входи позначені знаком "-"), з загальним проводом схеми, у моделі цей зв'язок присутній.

Якщо з'єднати Бode-плотер так, як показано на рис. 1.12, то результат буде аналогічним тому, що відповідає схемі на рис. 1.11. Але при цьому потрібно на схемі провести більше проводів.

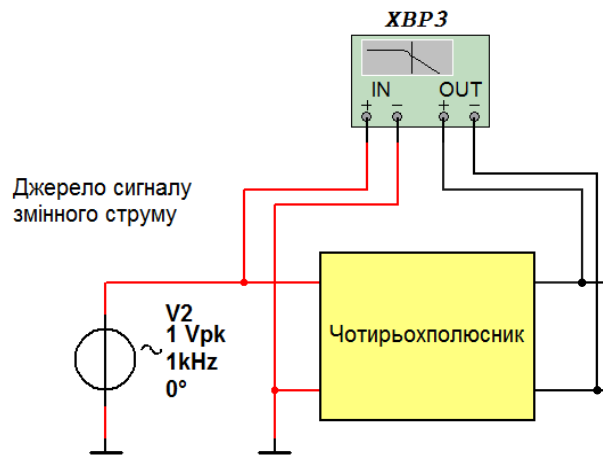


Рисунок 1.12 – Схема підключення Бодє-плотера з явно під'єднаним загальним проводом

Вимірювання АЧХ та ФЧХ можна провести тільки при умові, що джерело вхідних сигналів формує двополярний аналоговий сигнал. Для цього можна використати функціональний генератор, генератор змінної напруги і генератор АМ-сигналів (AM_VOLTAGE). Якщо джерелом сигналу буде генератор імпульсів вимірювання буде неможливим. При вимірюванні за допомогою Бодє-плотера частота сигналу на вході не впливає на результати вимірювання. Тому можна залишати частоту генераторів встановленою за домовленістю (найчастіше це 1 кГц).

Для вимірювання АЧХ та ФЧХ потрібно вірно встановити параметри Бодє-плотера. Для налаштування параметрів потрібно двічі клацнути лівою кнопкою "миші" по піктограмі Бодє-плотера. У вікні що відкриється (рис. 1.13) для налаштування діапазону частот аналізу АЧХ необхідно задати у зоні позначеній як **Horizontal**:

- масштаб по горизонтальній осі – логарифмічний (**Log**) чи лінійний (**Lin**);
- верхню частоту діапазону (**F**);
- нижню частоту діапазону (**I**).

У зоні позначеній як **Vertical**:

- масштаб по вертикальній осі – логарифмічний (**Log**) чи лінійний (**Lin**);
- верхню межу вхідного сигналу (**F**);
- нижню межу вхідного сигналу (**I**).

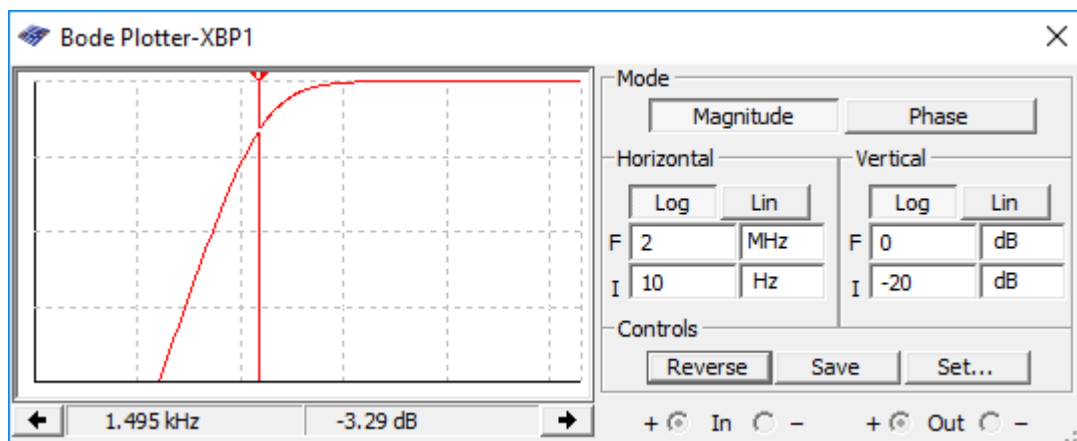


Рисунок 1.13 – Вікно відображення результатів вимірювання та встановлення параметрів Боде-плотера

Якщо до початку вимірювань невідомі частотний діапазон та рівень вхідного сигналу можна залишити їх встановленими за замовчуванням:

- по горизонталі $F = 1$ ГГц, $I = 0.1$ мГц;
- по вертикалі $F = 0$ дБ; $I = -200$ дБ.

Після початку вимірювань легко скорегувати потрібні параметри. Масштаби краще обирати логарифмічні. Це дозволяє досліджувати сигнал у більш широкому діапазоні вхідних сигналів.

Якщо параметри відомі, то треба одразу задати їх. Наприклад, для дослідження АЧХ та ФЧХ фільтру нижніх частот (ФНЧ) з частотою зрізу 3 кГц, верхню частоту аналізу можна обмежити величиною 100 кГц (залежить від ступеню загасання коефіцієнта передачі фільтра). Якщо необхідно з'ясувати частоту сигналу на якій загасання становить -40 дБ, до діапазон аналізу по вертикалі повинен становити не менше ніж 50 дБ.

Як точно зчитати показання Боде_плотера

Після вимірювання АЧХ та ФЧХ необхідно знайти характерні точки на цих характеристиках. Для АЧХ це смуга пропускання, яка найчастіше (якщо не обумовлений інший рівень) вимірюється на рівні -3 дБ від максимального рівня. Для ФЧХ це нерівномірність у заданій смузі частот.

Переміщуючи курсор за допомогою "миші" можна приблизно знайти потрібну точку. У нижній частині під вікном з виміряними характеристиками відображається частота сигналу і рівень на цій частоті (рис. 1.13).

Для точного вимірювання необхідно підвести стрілку "миші" до лінії курсору і натиснути праву кнопку "миші". У випадаючому меню обрати потрібний пункт. Пункти `Go to next Y_MAX =>`, `Go to next Y_MAX <=`, `Go to next Y_MIN =>`, `Go to next Y_MIN <=` пояснень не потребують.

Пункт Set X_Value дозволяє знайти точку на виміряній кривій на заданій частоті.

Пункт Set Y_Value => дозволяє знайти потрібний рівень правіше від місця розташування курсору, а Set Y_Value <= – лівіше від курсору (рис. 1.15). Після натискання на потрібний пункт контекстного меню відкривається вікно вводу потрібного значення (рис. 1.15). Після вводу значення треба натиснути кнопку ОК. Результат цієї операції наведений на рис. 1.16.

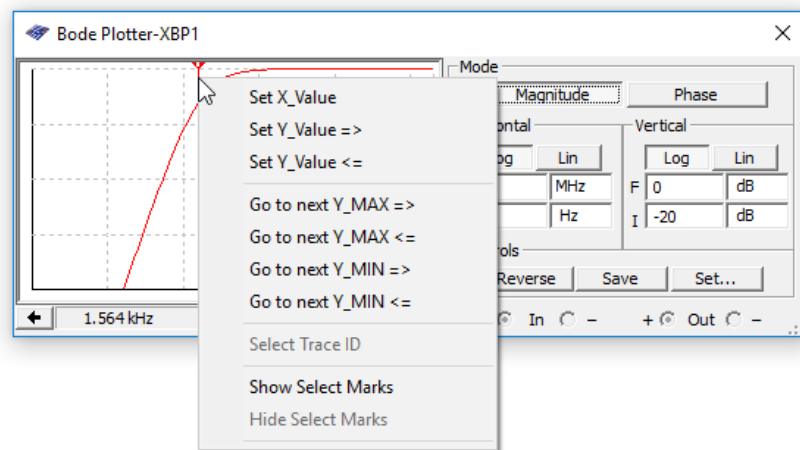


Рисунок 1.14 – Вікно додаткового контекстного меню Бode-плотера

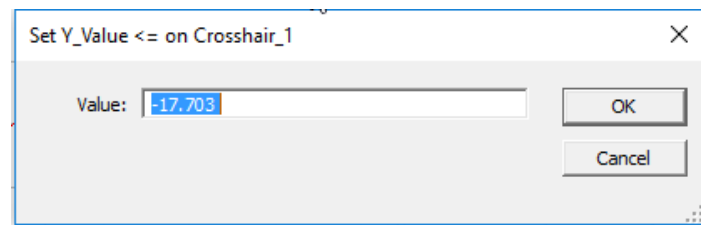


Рисунок 1.15 – Вікно відкритого пункту контекстного меню Бode-плотера Set Y_Value <=

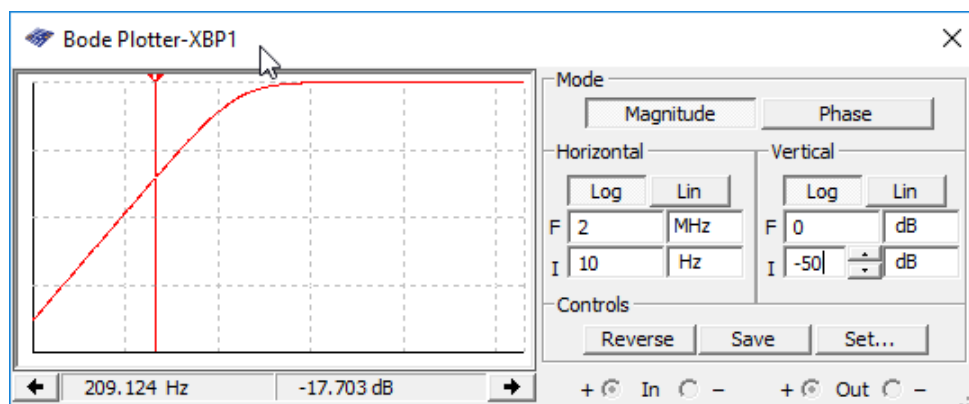


Рисунок 1.16 – Вікно Бode-плотера після пошуку точки з рівнем -17,703 дБ

1.1.4 Правила роботи з логічним аналізатором (Logic Analyzer)

Логічний аналізатор призначений для перегляду на одному екрані до 16 цифрових сигналів одночасно.

Проілюструємо роботу з логічним аналізатором на прикладі схеми синхронного лічильника з коефіцієнтом ділення 10, наведеного на рис. 1.17. Максимальний коефіцієнт ділення такого лічильника дорівнює 16, а введення додаткового логічного елемента DD4A дозволяє здійснювати примусове встановлення тригерів лічильника в “0”. За умови досягнення на виходах лічильника коду рівного 1010 (двійковий еквівалент десяткового числа 10) на виході DD4A формується сигнал у вигляді короткого імпульсу, що падає з “1” в “0”, який подається на інверсні входи встановлення тригерів в “0” (CLR).

Якщо Вам невідомо що таке лічильник і що він робить сприймайте його як пристрій, що формує багато різних сигналів.

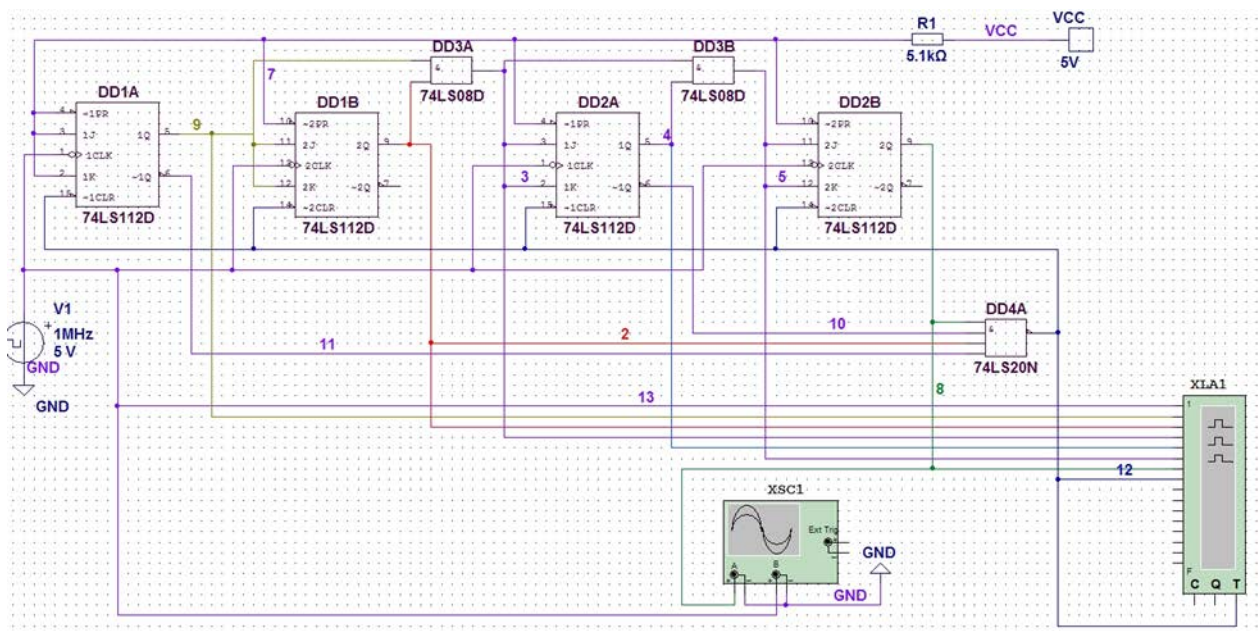


Рисунок 1.17 – Схема синхронного лічильника з коефіцієнтом ділення рівним десяти

Для аналізу сигналів в різних точках схеми використовується логічний аналізатор XLA1 і осцилограф XSC1. На рис. 1.18 наведені часові діаграми сигналів, отримані за допомогою логічного аналізатора. Для правильного відображення результатів роботи схеми необхідно задати параметри аналізу – частоту вхідного сигналу і параметри логічного аналізатора. Враховуючи, що в 12 точці (ноді) схеми (вихід DD4A) формується дуже короткий імпульс, тривалість якого дорівнює часу спрацювання DD4A плюс час

встановлення тригерів в “0”, тому необхідно вибрати частоту вхідного сигналу не нижче 100 кГц, інакше не вистачає роздільної здатності моделі для відображення результатів в точці 12.

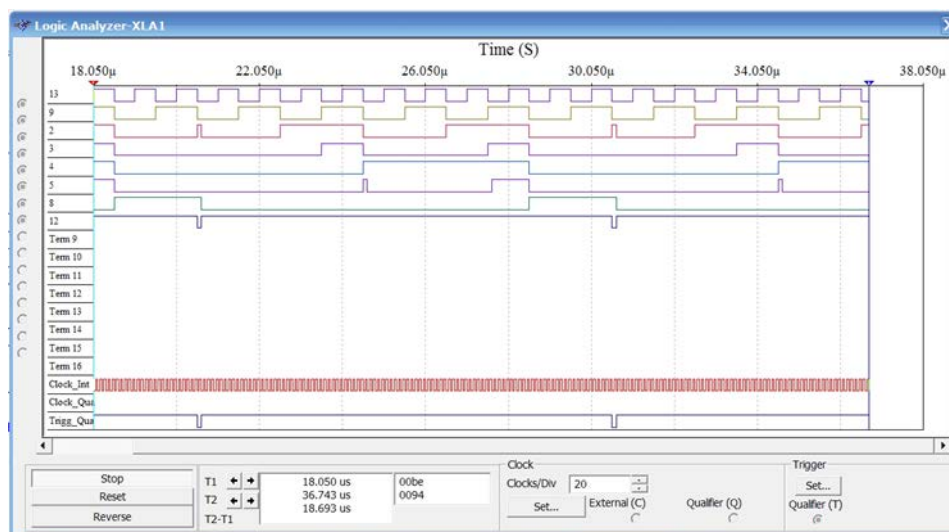


Рисунок 1.18 – Часові діаграми сигналів на виходах лічильника, отримані за допомогою логічного аналізатора

Для моделювання була задана частота вхідного сигналу 1 МГц, а тактова частота внутрішнього генератора аналізатора рівна 10 МГц. Чим вища тактова частота генератора, тим вища роздільна здатність аналізатора за часом. Щоб задати тактову частоту необхідно натиснути кнопку Set під написом Clock у відкритому вікні аналізатора (рис. 1.18). Відкриється діалогове вікно налаштування параметрів аналізу Clock setup (рис. 1.19). Крім тактової частоти (Clock Rate) тут задається число вибірок, які будуть оброблятися і виводиться на екран. Якщо вибірок мала кількість, то може бути виведена тільки частина сигналу, якщо більше необхідного, то буде послідовно виводиться декілька реалізацій, що займають повний екран у вікні виводу, поки процес аналізу не буде завершений. Під вибіркою (відліком) маються на увазі значення виведеного сигналу на кожному тактовому інтервалі.

Кількість відліків виведених на екран до моменту синхронізації (Pre-trigger sample) та після (Post-trigger sample) нього задається у відповідних вікнах (рис. 1.19). Ці значення особливого значення не мають і їх можна залишити встановленими у програмі за замовчуванням.

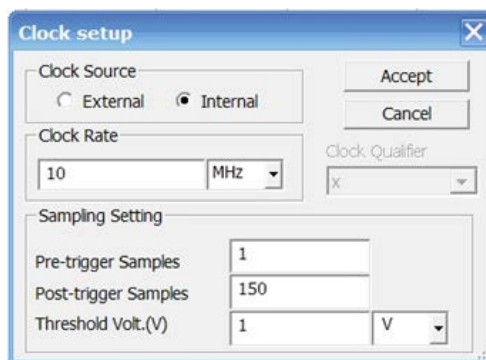


Рисунок 1.19 – Вікно налаштувань параметрів логічного аналізатора

Для розглянутої схеми кожному періоду вхідного сигналу відповідає 10 вибірок (samples). С урахуванням коефіцієнта ділення лічильника рівного 10 у вікно Post-trigger sample необхідно ввести число не менше 100, щоб на екран був виведений один повний цикл роботи лічильника. Більш зручно розглядати процеси, коли на екран виводиться не один період, а більше 1.2, щоб бачити початок і закінчення процесу.

Для розглянутого прикладу було задано число вибірок рівне 150, що дозволило спостерігати на екрані (рис. 1.18) 1.5 циклу роботи лічильника. Масштаб по осі часу можна змінювати, задаючи число тактів на ділення (Clocs/Div), яке задається в вікні виводу результатів аналізу (рис. 1.18). Чим менше задане число, тим більше масштаб по осі часу.

Основне, що треба пам'ятати при встановленні параметрів аналізатору:

1. Частота відліків (Clock Rate) повинна бути у 10...100 разів вища від верхньої частоти сигналу що досліджується. Її можна розрахувати якщо відоме значення мінімальної тривалості сигналу для дослідження (чи мінімальної затримки між сигналами різних каналів).

Тоді $f_{ClockRate} \geq 2,5/t_{i,min}$, де $t_{i,min}$ – мінімальна тривалість імпульсу або затримки.

2. Кількість відліків у вікні Post-trigger sample треба обирати виходячи з співвідношення $N_{Post-trigger} \geq 1,2T_{вх} f_{ClockRate}$ (якщо це можливо).

1.1.5 Правила роботи з генератором слів (Word Generator)

Word Generator (генератор слова) використовується для формування тестових багаторозрядних цифрових сигналів. Умовне позначення і вікно налаштувань параметрів генератора показані на рис. 1.20.

Генератор дозволяє формувати 32-розрядні кодові слова, які можна ввести з клавіатури безпосередньо у вікні введення коду (рис. 1.20), яке відкривається після подвійного клацання лівою кнопкою "миші" по піктограмі генератора слів.

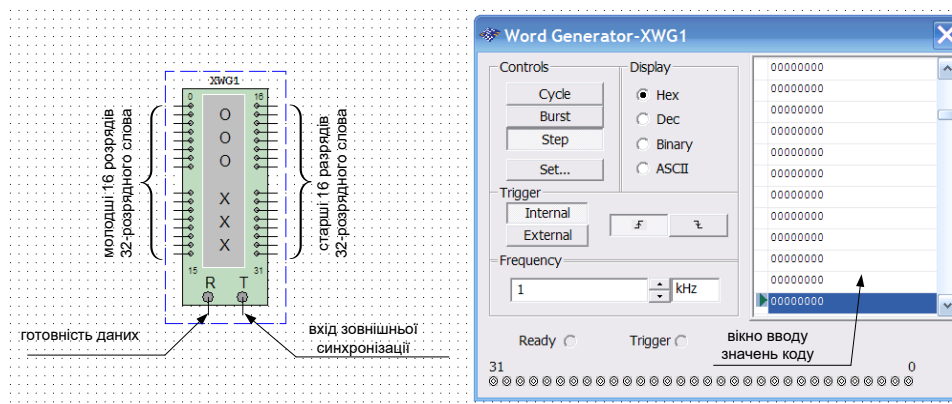


Рисунок 1.20 – Умовне позначення і вікно налаштувань параметрів генератора слова

Для введення і збереження введених слів іншими способами необхідно натиснути кнопку Set у вікні налаштування параметрів генератора слова (рис. 1.21). У вікні попередніх налаштувань налаштувань у стовпці Pre-set Patterns можна вибрати один з восьми варіантів формування та збереження слова:

- No Change – не змінюється автоматично (ручне введення значень);
- Load – завантажити з файлу;
- Save – зберегти файл;
- Clear buffer – очистити буфер;
- Up Counter – автоматично збільшувати кожне наступне значення на 1;
- Down Counter – автоматично зменшувати кожне наступне значення на 1;
- Shift Right – зміщувати праворуч на одну позицію кожне наступне значення;
- Shift Left – зміщувати ліворуч на одну позицію кожне наступне значення.

Перед початком введення кодових слів необхідно у вікно Buffer Size (рис. 7.11) ввести необхідну кількість кодових слів, яка задається в шістнадцятковому або десятковому коді в залежності від типу виводу на дисплей – в шістнадцятковому (Hex) або десятковому (Dec), який задається в вікні Display Type. Граничний розмір буфера 8 192 кодових слова (2000 в шістнадцятковому коді).

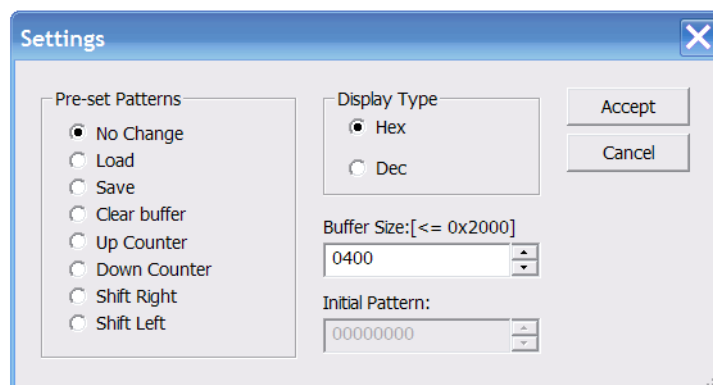


Рисунок 1.21 – Вікно налаштувань генератора слова

При використанні Up Counter, Down Counter, Shift Right і Shift Left у вікно Initial Pattern необхідно ввести початкове значення коду.

Розглянемо на прикладі, як буде виглядати набір кодових слів при наступних налаштуваннях:

- Display Type – Dec;
- Buffer Size – 10;
- Shift Right;
- Initial Pattern – 2147483648 (відповідає шістнадцятковому кодом 80000000).

Сформовані кодові слова показані на рис. 1.22. Для наочного уявлення цифрового сигналу, що формується, результат у вікні Word Generator представлений в двійковому коді.

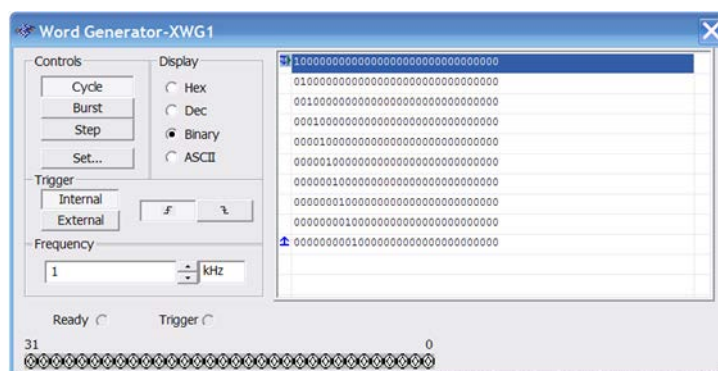


Рисунок 1.22 – Основне вікно генератора слова

Для введення значень коду в режимі No Change необхідно курсором “миші” клацнути на відповідному слові і потім ввести з клавіатури потрібні значення коду. Подальші переміщення по полю екрану зручніше проводити не за допомогою “миші”, а

клавішами управління курсором. Вміст екрану можна стерти, завантажити нове значення або записати у файл. Для запису необхідно натиснути кнопку SAVE і Асерт попередньо натиснувши кнопку Set (рис. 1.22). В діалоговому вікні необхідно вказати ім'я файлу (за замовчуванням пропонується ім'я схемного файлу). В отриманому таким чином текстовому файлі з розширенням .dp будуть записані у вигляді таблиці всі набрані на екрані комбінації. При необхідності файл можна відредагувати в будь-якому текстовому редакторі і завантажити знову натисненням кнопки LOAD.

На рис. 1.23 наведено приклад формування 8-розрядного цифрового сигналу з періодом повторення 16 тактів (режим виводу Cycle) і часові діаграми цього сигналу, отримані за допомогою логічного аналізатора. Текст файлу, що містить інформацію про сформовані сигнали, наведено на рис. 1.24. Частота виводу сигналів задається в рядку Frequency (рис. 1.23). За замовчуванням задається частота виведення сигналу 1 кГц.

Сформовані слова знімаються з восьми виходів (від 0 до 7) молодших розрядів XWG1 (рис. 1.23). На інших виходах формуються нулі у відповідності з таблицею програмування генератора.

У генераторі слів передбачена можливість підключення зовнішнього синхронізуючого сигналу по входу T. За замовчуванням включена синхронізація від внутрішнього тактового генератора.

Крім циклічного режиму виводу можна використовувати режими одноразового виведення всієї послідовності кодових слів (Burst) і покроковий (STEP). У покроковому режимі після кожного натискання кнопки Run (на панелі інструментів кнопка позначена зеленим трикутником) виводиться чергове кодове слово. Після перебору всіх введених значень коду буде знову виводитися перше слово, потім друге і т.д.

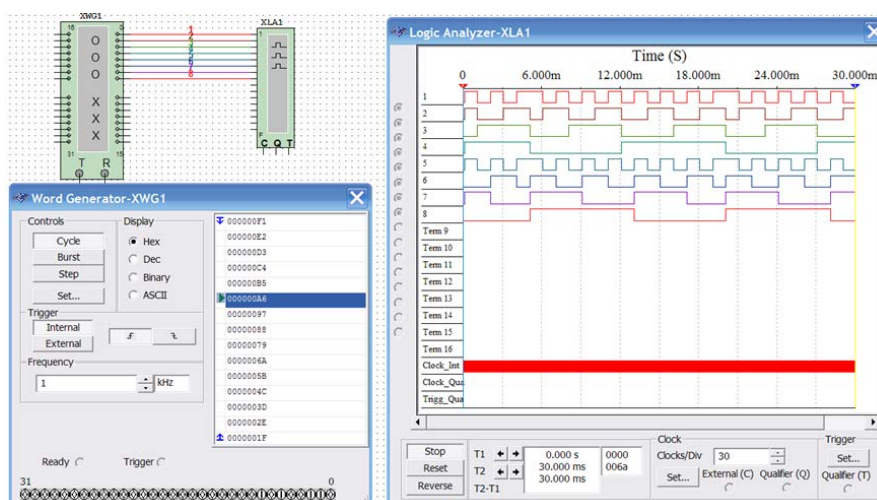


Рисунок 1.23 – Формування 8-розрядного двійкового коду генератором слова в циклічному

Data:
000000F1
000000E2
000000D3
000000C4
000000B5
000000A6
00000097
00000088
00000079
0000006A
0000005B
0000004C
0000003D
0000002E
0000001F
Initial:
0000
Final:
000E

Рисунок 1.24 – Таблиця, що зберігається в файлі *.dp

На вивід R (Ready) генератора слова виводиться сигнал тактової частоти, який може бути використаний для синхронізації інших пристроїв. Сигнал з цього виходу супроводжує кожну кодову комбінацію, що подається на вихід і може бути використаний в тому випадку, коли досліджуваний пристрій має властивість квітування (підтвердження). У цьому випадку після отримання чергової кодової комбінації і супроводжуючого його сигналу READY досліджуваний пристрій формує сигнал підтвердження отримання даних, який подається на вхід зовнішньої синхронізації генератора T і виробляє черговий запуск генератора, якщо він працює в режимі зовнішньої синхронізації.

Для очищення буфера від введених кодових слів необхідно натиснути кнопку Clear buffer.

Генератор кодових слів зручно використовувати для тестування різних цифрових пристроїв, так як він дозволяє формувати довільні послідовності нулів та одиниць.

1.2 Мета та порядок проведення лабораторної роботи №1

Засвоїти основні прийоми роботи з вимірювальними пристроями NI Multisim.

Завдання.

1. Зібрати схему наведену на рис. 1.25.

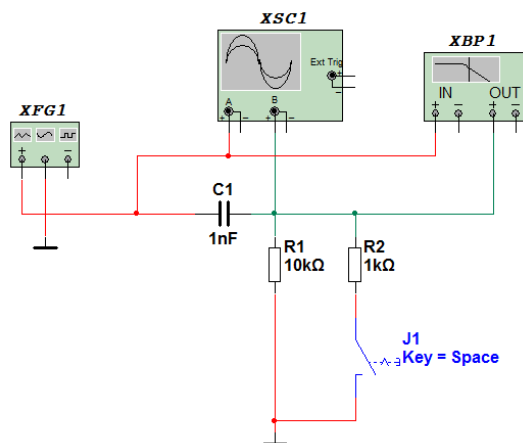


Рисунок 1.25 – Схема для вимірювання АЧХ та ФЧХ фільтру верхніх частот (ФВЧ) та дослідження диференціюючого кола

2. Виміряти АЧХ ФВЧ за допомогою Бодє-плотера. Параметри вхідного сигналу, що формуються функціональним генератором XFG1:
 - форма сигналу – синусоїда;
 - частота сигналу 1 кГц;
 - амплітуда сигналу 1 В;
 - напруга зміщення (Offset) дорівнює 0 В.
3. Виміряти АЧХ при розімкненому перемикачі J1, зафіксувати максимальний рівень АЧХ, знайти значення частоти при якому АЧХ спадає на 3 дБ відносно максимального рівня і частоти, при якій рівень сигналу спадає на 35 дБ.
4. Виміряти ФЧХ при розімкненому перемикачі J1 і знайти значення частоти при якому сигнал на виході буде зсунутий відносно вхідного на 45°.
5. Замкнути перемикач J1 і повторити вимірювання вказані у п. 3.
6. Встановити вхідний сигнал з наступними параметрами:
 - форма сигналу – прямокутна;
 - тривалість імпульсу відносно періоду сигналу (Duty Cycle) 40%;

- частота сигналу 1 кГц;
 - амплітуда сигналу 2,5 В;
 - напруга зміщення (Offset) дорівнює 2,5 В.
7. За допомогою осцилографа дослідити форму сигналу при двох положення перемикача J1.
 8. Виміряти амплітуду сигналу і тривалість імпульсу на вході схеми і на рівні 50% (від максимального рівня) на виході схеми при двох положення перемикача J1.

1.3 Мета та порядок проведення лабораторної роботи №2

Завдання.

1. Зібрати схему наведену на рис. 1.26.

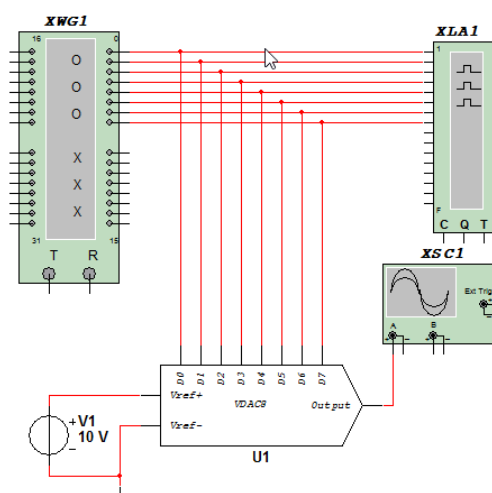


Рисунок 1.25 – Схема для формування та контролю багаторозрядних цифрових послідовностей сигналів

Елемент схеми U1 (VDAC8) знаходиться в бібліотеці Mixed і призначений для перетворення коду у напругу (використовується в цій схемі для контролю порядку зміни коду).

2. Задати та записати у файл код у п'яти молодших розрядах двійкового коду (відповідає 32 значенням у десятковому коді), щоб він утворив уявну букву М. Перше значення коду відповідає значенню 31 (у десятковому коді або 11111 у двійковому). На протязі перших 15 тактів код повинен зменшуватись з кожним тактом на 2 (у десятковому коді), потім наступні 15 тактів зростати з кожним тактом на 2. На 31 такті код встановити рівним 0, а на 32 такті процес починає повторюватись. Сформовану кодову послідовність зберегти у файлі.

3. Контроль цифрових сигналів проводити за допомогою логічного аналізатора.
4. Контроль зміни коду за допомогою осцилографа.

Протокол проведення лабораторної роботи подається бригадою в одному екземплярі. На титульному аркуші вказати номер бригади і прізвища студентів зі складу бригади, що були на заняттях.

У протоколі відобразити результати вимірювання по кожному з завдань, осцилограми сигналів та форму сигналів на виході генератора слів. У процесі роботи продемонструвати викладачу яким чином відбуваються вимірювання.

1.4 Домашнє завдання

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями. Окрім вказаних у описі лабораторної роботи прочитати правила роботи з функціональним генератором та генератором однополярних імпульсів Clock Generator.
2. Засвоїти правила вимірювання параметрів сигналів за допомогою осцилографа.
3. Засвоїти правила вимірювання параметрів різних кіл за допомогою Бode-плотера.
4. Навчитись правильно встановлювати параметри логічного аналізатора при дослідженні багаторозрядних цифрових сигналів.

1.5 Контрольні питання

1. Як здійснювати синхронізацію осцилографа якщо частота сигналів на його входах відрізняється?
2. Як дослідити тривалість фронту (спаду) імпульсного сигналу за допомогою осцилографа.
3. Як знайти точне значення послаблення чи підсилення сигналу на заданій частоті за допомогою Бode-плотера.
4. Як встановити частоту Clock Rate логічного аналізатора, якщо відома частота вхідного сигналу?
5. Чи слід враховувати мінімальну тривалість вхідних сигналів при виборі частоти Clock Rate і чому?

Література

1. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.

Лабораторна робота №3

Дослідження обмежувачів напруги

3.1 Теоретичні відомості

3.1.1 Загальні відомості про обмежувачі напруги

Обмежувачем називають чотириполюсник, на виході якого напруга $U_{\text{вих}}(t)$ залишається практично на постійному рівні, коли вхідна напруга $U_{\text{вх}}(t)$ перевищує деяке граничне значення $U'_{\text{пор}}$ (обмеження по максимуму, рис. 3.1а), або ухвалює значення нижче граничного $U''_{\text{пор}}$ (обмеження по мінімуму, рис. 3.1б). У цих випадках вихідна напруга обмежується деяким значенням $U_{\text{огр}}$. Так само, якщо вхідна напруга виходить за межі граничних рівнів $U'_{\text{пор}}$ і $U''_{\text{пор}}$ (двосторонні обмежувачі, рис. 3.1в), та вихідна напруга буде обмежена зверху й знизу деякими значеннями $U'_{\text{огр}}$ й $U''_{\text{огр}}$ відповідно. Ті значення вхідного сигналу, які лежать між граничними рівнями, відтворюються на виході без викривлень.

Основним вимогами до обмежувача є висока стабільність положення точок зламу його характеристики, висока чіткість обмеження (висока сталість вихідної напруги в області обмеження), висока лінійність схеми в області де обмеження нема.

При обмеженні імпульсів можливе викривлення їх форми, зокрема розтягування фронтів, яке не повинне перевершувати припустимого рівня.

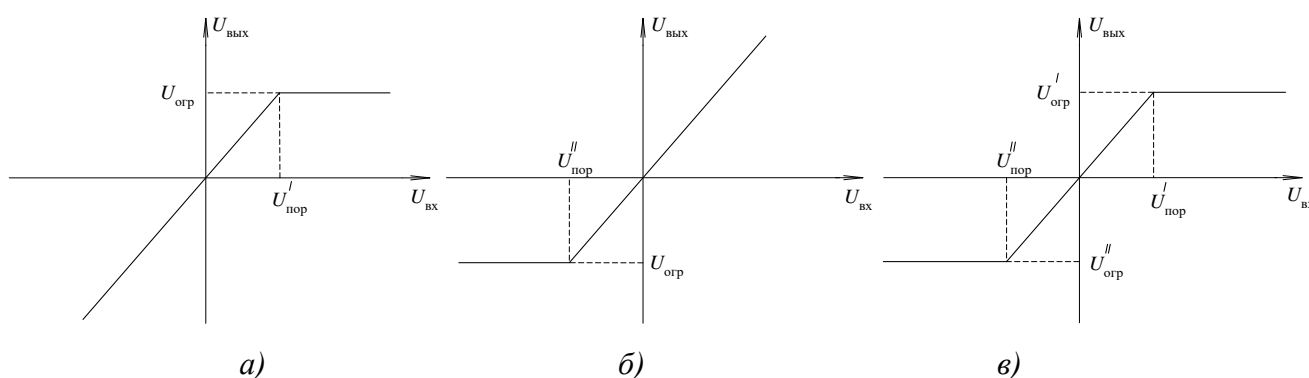


Рисунок 3.1 – Амплітудні характеристики обмежувачів: односторонній обмежувач по максимуму (а), односторонній обмежувач по мінімуму (б), двосторонній обмежувач (в)

3.1.2 Характеристики напівпровідникових діодів

Схематичне зображення діода наведене на рис. 3.2, а його статична характеристика на рис. 3.3.

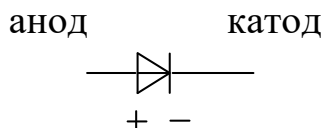


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення діода

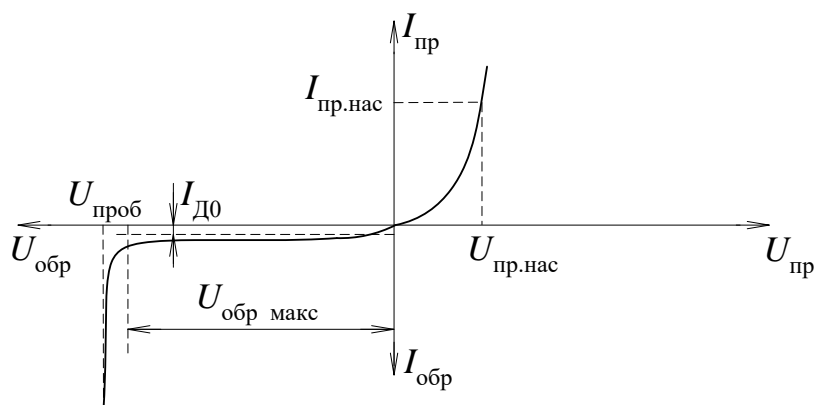


Рисунок 3.3 – Статична характеристика діода

Статична характеристика (для теоретичної моделі діода, тобто р-п переходу) приблизно описується рівнянням 3.1

$$I_{\text{д}} = I_{\text{д0}} \left(e^{\frac{U_{\text{д}}}{\varphi_{\text{T}}}} - 1 \right), \quad (3.1)$$

де $I_{\text{д}}$, $U_{\text{д}}$ – відповідно струм через діод і напруга на діоді (точніше, напруга на р-п переході);

$I_{\text{д0}}$ – тепловий струм переходу, що залежить від температури й властивостей матеріалів, що

утворюють перехід; $\varphi_{\text{T}} = \frac{kT_0}{q_0}$ – температурний потенціал (T_0 – абсолютна температура в

кельвінах, q_0 – заряд електрона, k – постійна Больцмана).

Для різних типів діодів $U_{\text{пр.нас}}$ (напруга насичення) буде різною. Для кремнієвих діодів (Si) $U_{\text{пр.нас}} \approx 0.7 \text{ В}$, для германієвих (Ge). $U_{\text{пр.нас}} \approx 0.3 \text{ В}$.

3.1.3 Односторонні обмежувачі без зміщення

Паралельні діодні обмежувачі. Схема діодного обмежувача знизу, а також часові діаграми, що ілюструють його роботу, наведені на рис. 3.4,а, б.

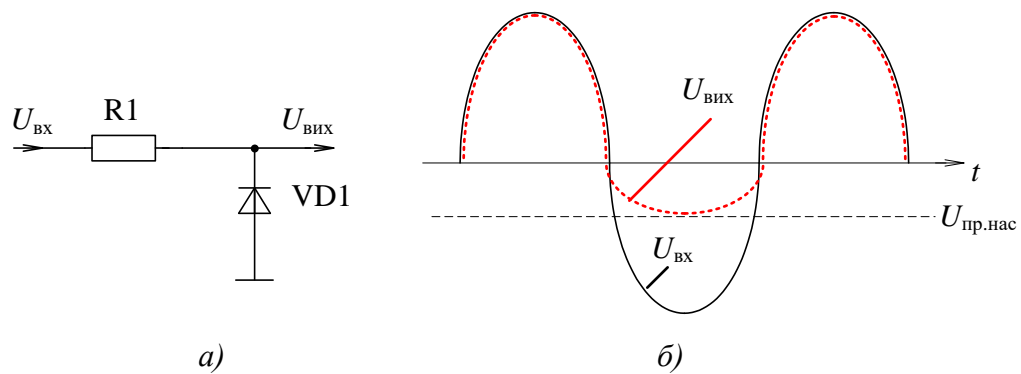


Рисунок 3.4 – Схема паралельного діодного обмежувача знизу (а) і часові діаграми вхідного і вихідного сигналів цієї схеми (б)

Як видно з рис. 3.4,б, при позитивній півхвилі вхідної напруги діод закритий, і тому в цей півперіод вхідне коливання рівне вихідному. Коли ж на вхід обмежувача надходить негативна півхвиля вхідної напруги, діод відкритий, максимум вихідної напруги такого кола в цей півперіод буде рівним $U_{пр.нас}$ діода $VD1$.

Послідовні діодні обмежувачі

На рис. 3.5,а, б наведені принципова схема послідовного діодного обмежувача і часові діаграми, що ілюструють його роботу.

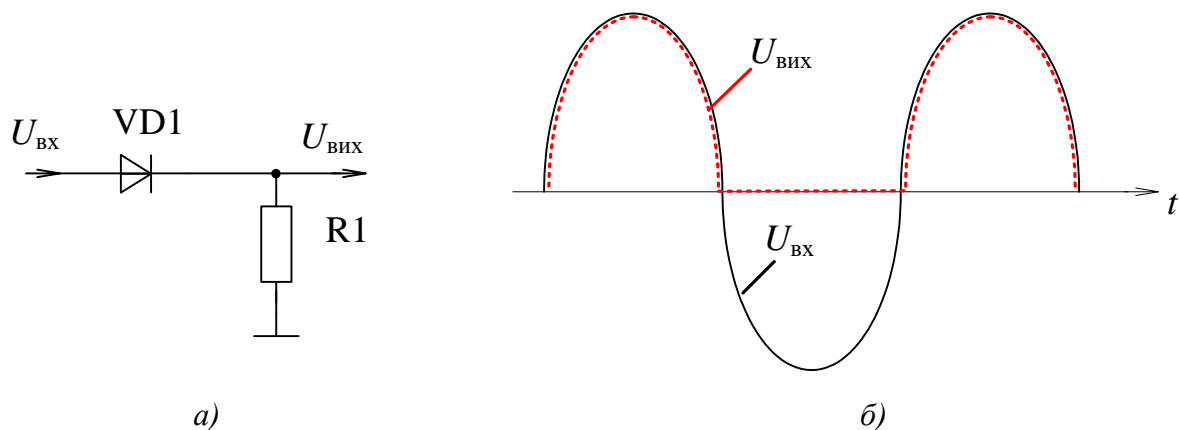


Рисунок 3.5 – Схема послідовного діодного обмежувача знизу (а) і часові діаграми сигналів на вході й виході схеми (б)

Часові діаграми даної схеми (рис. 3.5,б) говорять про те, що діод відкритий лише при позитивній півхвилі вхідного коливання й закритий при негативній півхвилі, що ілюструє принцип роботи діода.

3.1.4 Односторонні обмежувачі зі зміщенням

Паралельні діодні обмежувачі. Схема діодного обмежувача зверху, а також часові діаграми, що ілюструють роботу обмежувача, наведені на рис. 3.6,а, б.

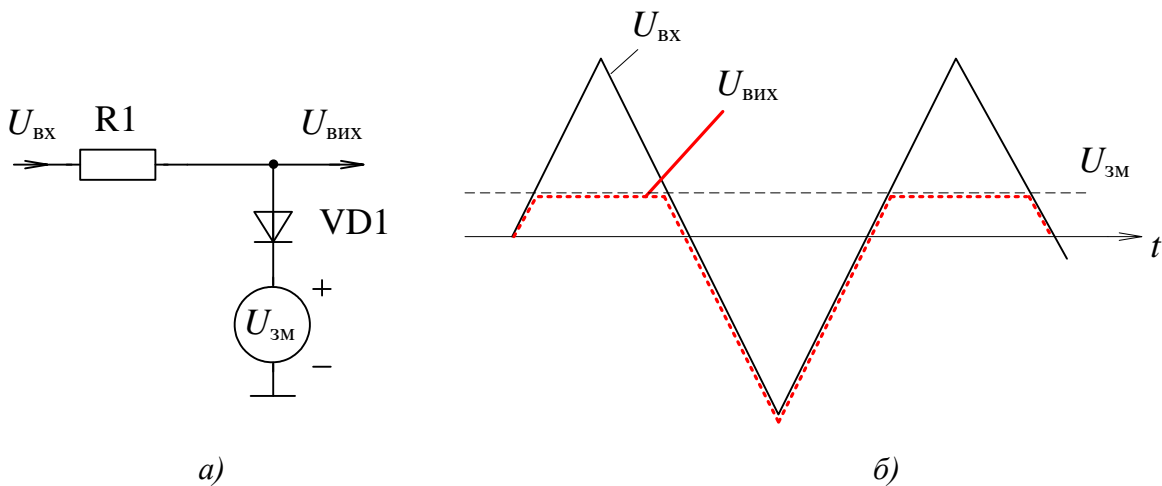


Рисунок 3.6 – Схема діодного обмежувача зверху (а), а також часові діаграми, що ілюструють роботу обмежувача (б)

Як бачимо з рис. 3.6,б, додавання напруги, що зміщує, приводить до того, що діод буде відкритий лише за умови $U_{\text{ВХ}}(t) - U_{\text{ЗМ}} > 0$ (тому що він відкривається тільки при позитивній різниці потенціалів, прикладених до його електродів).

Послідовні діодні обмежувачі. На рис. 3.7а, б зображений послідовний діодний обмежувач знизу, а також часові діаграми на його вході і виході.

Відмінність роботи даної схеми (рис. 3.7,а) від схеми 3.5,а полягає лише в тому, що діод буде закритий доти, поки не буде виконуватися нерівність $U_{\text{ВХ}}(t) - U_{\text{ЗМ}} > 0$.

Паралельний діодний обмежувач у порівнянні з послідовним обмежувачем звичайно забезпечує гіршу чіткість обмеження. Іншим недоліком схеми паралельного діодного обмежувача в схемі зі зміщенням є необхідність мати малий внутрішній опір джерела напруги $U_{\text{ЗМ}}$.

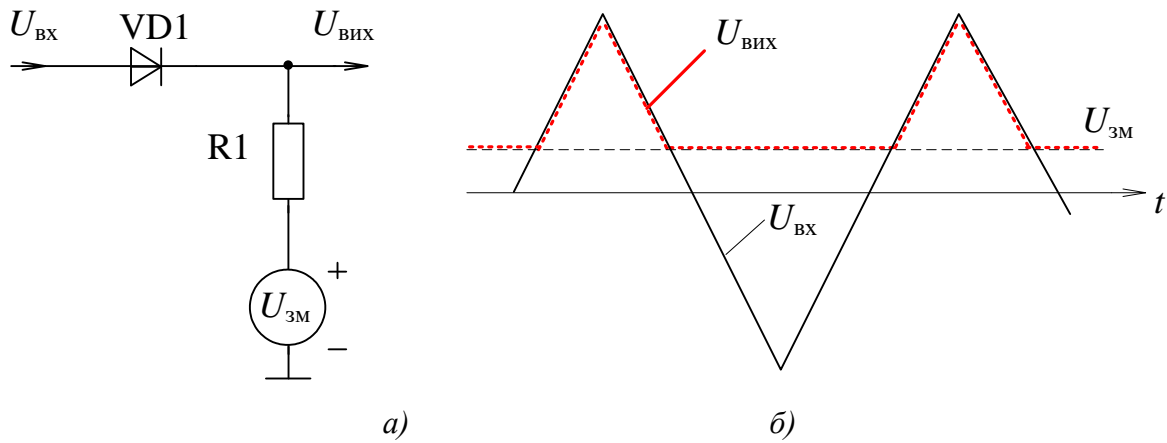


Рисунок 3.7 – Послідовний діодний обмежувач знизу (а), і часові діаграми що ілюструють його роботу (б)

Недолік послідовної схеми виражається в тому, що на високих частотах і при крутих перепадах напруги прохідна ємність діода створює в режимі обмеження (при відкритому діоді) паразитний зв'язок між входом і виходом, через що форма сигналу спотворюється.

3.1.5 Двосторонні обмежувачі без зсуву

Двосторонній діодний обмежувач можна одержати шляхом з'єднання односторонніх обмежувачів. Для цього можуть використовуватися схеми, як з послідовним, так і з паралельним обмеженням.

На рис. 3.8 наведена схема двостороннього паралельного обмежувача, а також відповідні його роботі часові діаграми.

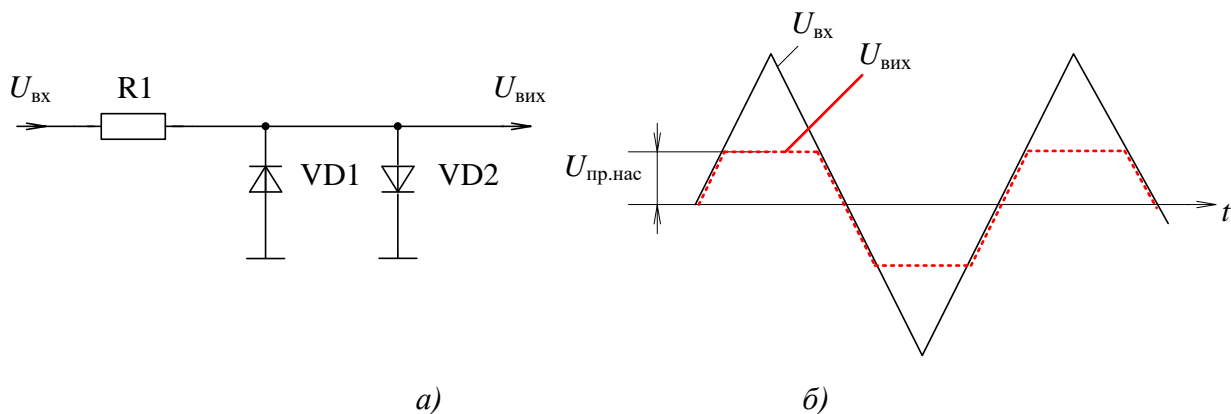


Рисунок 3.8 – Схема двостороннього паралельного обмежувача (а), і часові діаграми сигналу на його вході й виході (б)

Діаграми роботи двостороннього обмежувача без зсуву (рис. 3.8,б) показують, що при позитивному півперіоді вхідного колювання, діод VD2 відкритий і тому на виході залишається лише напруга насичення діода. При негативному півперіоді, відкритий VD1 і напруга на виході дорівнює його напрузі насичення. Таким чином, рівень обмеження вхідного сигналу обмежений напругами насичення діодів VD1 і VD2.

3.1.6 Двосторонні обмежувачі зі зміщенням

На рис. 3.9а, б наведені схеми двостороннього послідовного обмежувача, а також часові діаграми, що демонструють роботу цієї схеми.

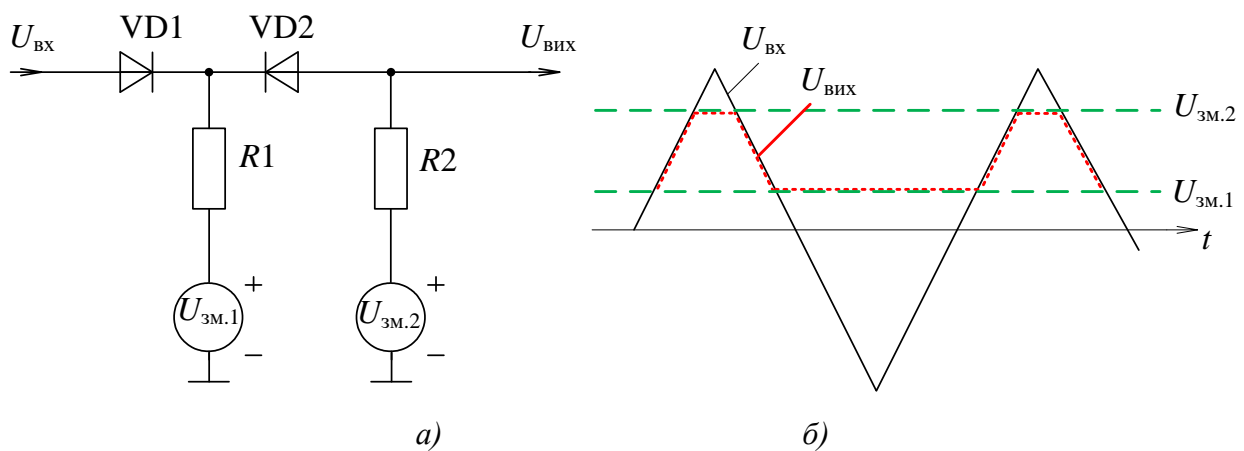


Рисунок 3.9 – Схема двостороннього послідовного обмежувача з зміщенням (а) і часові діаграми вхідного й вихідного сигналів схеми (б)

Розглянемо поведінку схеми при подачі різного значення вхідної напруги:

1. При відсутності зовнішнього сигналу діод VD2 ($U_{3M.2} > U_{3M.1}$). Верхній рівень обмеження визначається величиною $U_{3M.2}$, а нижній, величиною U_1 , яка дорівнює потенціалу катода, при якому відкривається діод VD1

$$U_1 = U_{3M.1} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{3M.2} \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

2. При $U_{BX} < U_1$ діод VD1 закритий, VD2 відкритий і $U_{VИХ} \approx U_1$.
3. При $U_1 < U_{BX} < U_{3M.2}$ обидва діода відкриті й $U_{VИХ} \approx U_{BX}$.
4. При $U_{BX} > U_{3M.2}$ діод VD2 закритий і $U_{VИХ} \approx U_{3M.2}$.

На рис. 3.10а, б наведені схеми двостороннього паралельного обмежувача, а також часові діаграми, що ілюструють роботу цієї схеми.

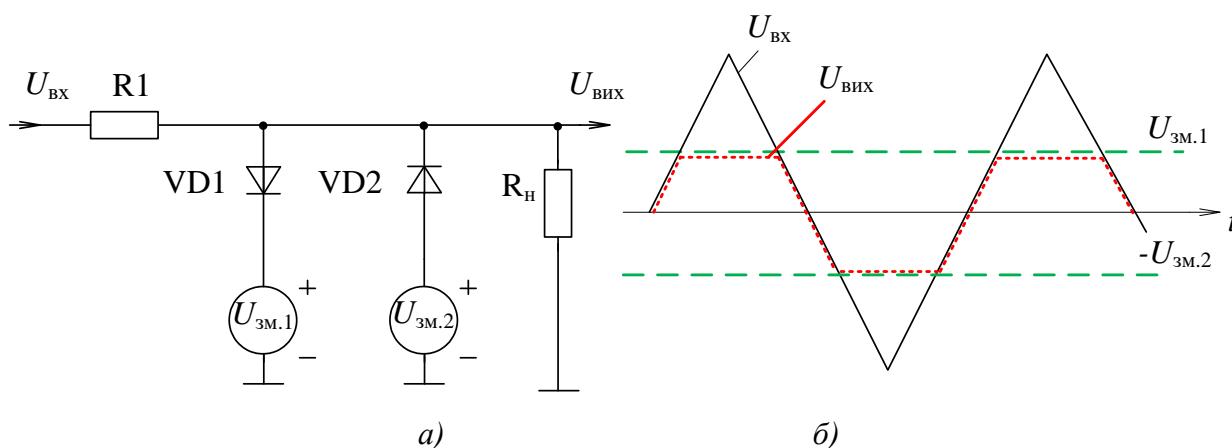


Рисунок 3.10 – Схема двостороннього паралельного обмежувача зі зміщенням (а)
і часові діаграми сигналу на вході й виході схеми (б)

3.1.7 Формування напруги зміщення від джерела живлення

Якщо напруга обмеження що потрібна для захисту вхідних кіл дорівнює напрузі живлення, то ніяких проблем не виникає. Наприклад, для захисту цифрових мікросхем з напругою живлення 5 В не потрібно джерело напруги зміщення оскільки допустима напруга на вході логічних елементів може сягати величини 5,7 В, а від'ємна напруга -0,7 В.

Але для захисту вхідних кіл інших пристроїв може знадобитись напруга зміщення відмінна від напруги живлення. Сформувати потрібну напругу живлення можна або за допомогою дільника напруги на резисторах, або за допомогою параметричного стабілізатора напруги.

При виборі опору резисторів слід враховувати, що струм через дільник не повинен бути значної величини для економії енергії. Не рекомендується формувати струм дільника більше 1 мА. Але при цьому вихідний опір дільника може бути значним, що призведе до погіршення якості обмеження.

Для зменшення вихідного опору дільника змінному струму рекомендується під'єднати паралельно дільнику конденсатор великої ємності. Опір конденсатора на нижній частоті робочого діапазону не повинен перевищувати 0,01 опору резистора, що включений між виходом напруги зміщення і загальним проводом.

На рис. 3.11 наведені схеми дільника на резисторах і параметричного стабілізатора напруги (для позитивної напруги). Для негативної напруги треба змінити полярність джерела живлення а в параметричному стабілізаторі стабілітрон VD1 дзеркально відбити по вертикалі.

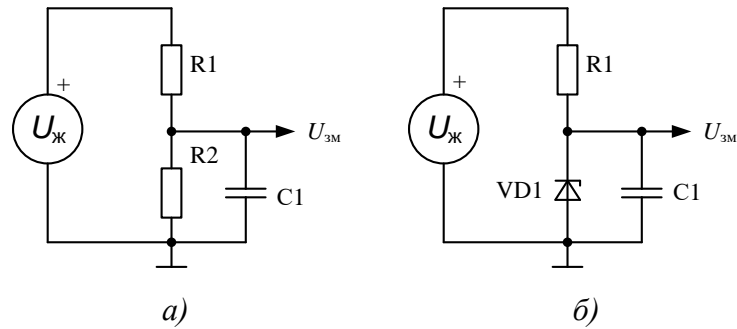


Рисунок 3.11 – Формування напруги зміщення за допомогою резистивного дільника (а) та параметричного стабілізатора напруги (б)

Для дільника напруги на резисторах порядок розрахунку наступний:

1. Задаємо струм через дільник $i_d = 1 \text{ mA}$.
2. Розраховуємо значення опору резистора R2, знаючи напругу зміщення за формулою $R_2 = U_{зм} / i_d$.
3. Розраховуємо значення опору резистора R1 за формулою $R_1 = (U_{ж} / i_d) - R_2$.
4. Вибираємо резистори з ряду E24 (найближчий до розрахованого значення номінал). Ряд номіналів наведено в табл. 3.1.
5. Розраховуємо ємність конденсатора C1 за формулою $C_1 \geq 100 / (2\pi f_n R_2)$. Вибираємо конденсатор з ємністю найближчою до номінального значення з ряду E12.

Таблиця 3.1. Ряди номінальних значень E12 та E24

E12	1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E24	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.7	3
	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

Для параметричного стабілізатора порядок розрахунку наступний:

1. Обираємо стабілітрон за напругою з бібліотеки Diodes/Zener. В бібліотеці налічується 12 стабілітронів (рис. 3.12).

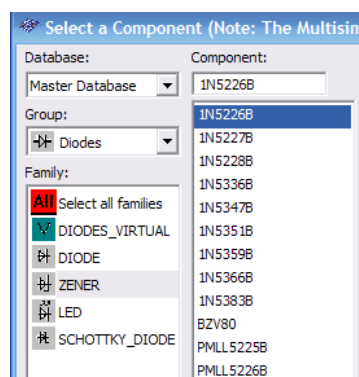


Рисунок 3.12 – Бібліотека стабілітронів Multisim

Параметри стабілітрона можна подивитись після натискання на кнопку Detail Report (рис. 3.13).

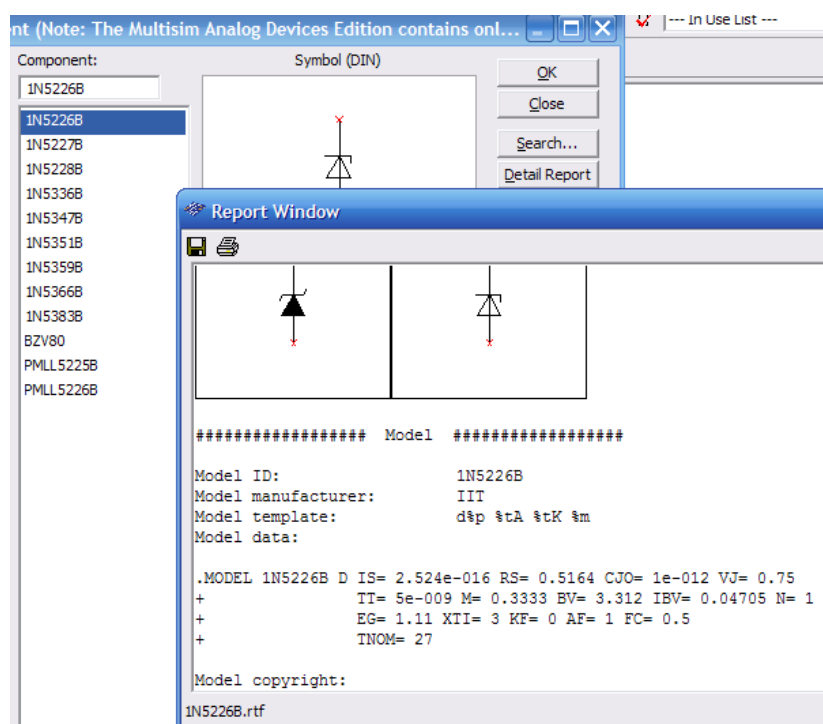


Рисунок 3.13 – Модель стабілітрона 1N5226B

До основних параметрів стабілітрона відносяться напруга стабілізації BV (Vz) та струм стабілізації IBV. Наприклад, для стабілітрона 1N5336B струм стабілізації складає 0,001 А, тобто 1 мА, а напруга стабілізації Vz = 4,3 В.

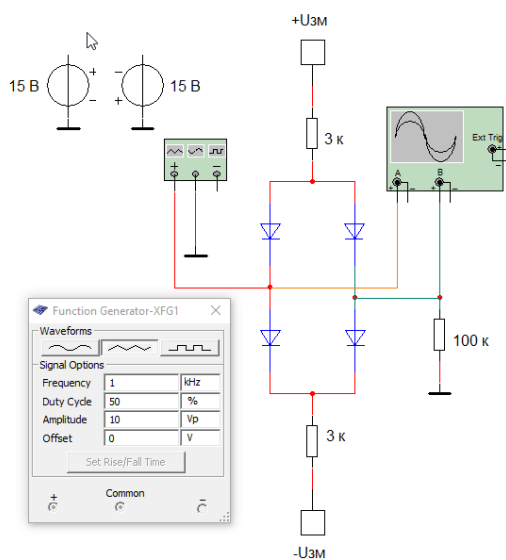
2. Розраховуємо опір баластного резистора (R1 на рис. 3.11,б) по формулі $R_1 = (U_{ж} - U_{ст}) / i_{ст}$, де $U_{ст}$ – напруга стабілізації стабілітрона, $i_{ст}$ – струм стабілізації номінальний.

Наприклад, для стабілітрона 1N5336B при напрузі живлення 12 В баластний резистор має опір не більше ніж $(12 - 4,3)/10^{-3} = 7,7$ кОм. Обираємо резистор 7,5 кОм (найближчий номінал з ряду E24). Паралельно стабілітрону під'єднати конденсатор ємністю 100 мкФ.

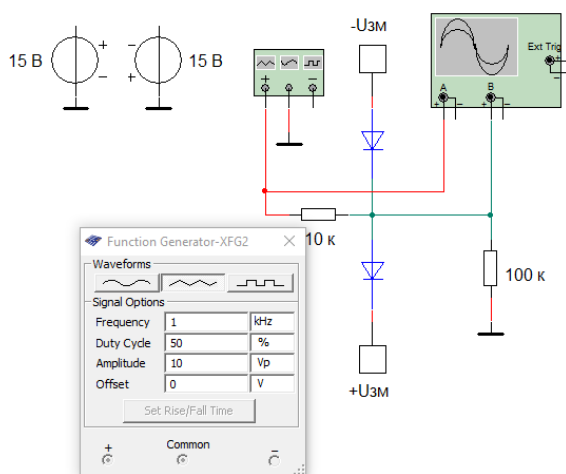
3.2 Мета роботи

Ознайомитися з принципом роботи обмежувачів напруги та розрахунком їх параметрів, а також проаналізувати вплив обмеження на характеристики сигналу (коефіцієнт нелінійних спотворень для гармонічного сигналу та рівень гармонічних складових для сигналів іншої форми).

Для проведення досліджень зібрати моделі, що відповідають функціональним схемам обмежувачів наведених на рис. 3.14. На рис. 3.14 не наведені схеми джерела напруги зміщення. Для формування напруги зміщення використати або резистивний дільник напруги, або параметричний стабілізатор (дивись розділ 3.1.7) та два джерела постійного струму напругою 15 В.



а)



б)

Рисунок 3.14 – Функціональні схеми послідовного (а) та паралельного (б) обмежувачів напруги

3.3 Домашнє завдання

1. Розробіть моделі послідовного та паралельного двосторонніх обмежувачів у відповідності з функціональними схемами що наведені на рис. 3.14.

2. Оберіть схему для формування напруги зміщення і розрахуйте її параметри, користуючись даними табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Параметри для розрахунку обмежувачів напруги

№ бригади	Нижня частота робочого діапазону, Гц	Позитивна напруга обмеження, В	Негативна напруга обмеження, В	Амплітуда вхідної напруги, В	Форма вхідної напруги
1	100	+3,3	-0,9	± 10	трикутна
2	50	+4,3	-2,1	± 10	трикутна
3	20	+5,5	-1,2	± 10	трикутна
4	10	+2,3	-3,1	± 10	трикутна
5	300	+3,7	-4,7	± 10	трикутна
6	150	+4,6	-3,5	± 10	трикутна
7	75	+2,9	-5,1	± 10	трикутна
8	37	+5,2	-4,5	± 10	трикутна
9	250	+6,3	-1,9	± 10	трикутна
10	200	+7,1	-2,3	± 10	трикутна

3. Розрахуйте напругу зміщення для кожної зі схем виходячи з напруги обмеження (табл. 3.2) і елементи формувачів напруги зміщення.

4. Передбачити в розробленій моделі відключення одного з конденсаторів у формувачах напруги живлення за допомогою перемикача.

5. Для допуску до виконання лабораторної роботи необхідно представити діючі моделі (для кожної схеми окрему) і розрахунки джерел зміщення.

3.4 Порядок виконання роботи

3.4.1 Завдання 1

1. Для початку формування звіту розмістити скріншот моделі досліджуваного обмежувача у текстовому файлі (після титульного аркушу). На титульному аркуші вказати № бригади, її склад присутній на роботі та назву роботи. Під скріншотом вказати рис. з порядковим номером. Схема першого обмежувача матиме номер 3.1.

2. Провести вимірювання напруги обмеження за допомогою осцилографа. Скріншоти з результатами вимірювань зберегти і помістити у звіт з лабораторної роботи. Під скріншотом вказати рис. з порядковим номером. Після підпису під рисунком у тексті вказати виміряні рівні обмежень.

3. Виміряти напругу живлення за допомогою мультиметра та пробника. Порівняти отримані результати. Скріншоти з результатами вимірювань зберегти і помістити у звіт з лабораторної роботи.

4. Відключити конденсатор у джерелі напруги зміщення. Порівняти осцилограми сигналів з конденсатором та без нього. Пояснити отримані результати.

5. Провести аналогічні вимірювання для другого обмежувача.

3.4.2 Завдання 2

1. Подати на вхід обмежувача (обрати самостійно і вказати для якої схеми проводяться вимірювання) гармонічний сигнал від генератора замість трикутного. Амплітуду сигналу зберегти рівною ± 10 В.

2. Виміряти спектр сигналу на вході та виході обмежувача не змінюючи роздільної здатності аналізатора спектру за частотою. Починати треба з вимірювання спектру обмеженого сигналу. Кількість гармонік яку потрібно побачити після спектрального аналізу встановити рівною 10. Частоту вхідного сигналу, а відповідно і параметри спектрального аналізу потрібно встановити у відповідності з табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Параметри вхідного сигналу для вимірювання спектру та коефіцієнта гармонік

№ бригади	Частота вхідного сигналу, кГц
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	1,5
7	3,5
8	2,5
9	4,5
10	5,5

3. Скріншоти з результатами вимірювання спектру за допомогою аналізатора спектру навести у звіті.
4. Провести вимірювання спектру і коефіцієнта гармонік (тільки для сигналу на виході обмежувача) за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Порядок проведення вимірювань наведений у файлі "Анализ Фурье в Multisim.pdf" що додається.
5. В таблиці результатів вимірювання перетворення Фур'є вказаний параметр THD – Total Harmonic Distortion. Цей параметр відповідає коефіцієнту гармонік сигналу.
6. Виміряти нелінійні спотворення за допомогою приладу Distortion Analyzer s порівняти зі значенням отриманим за допомогою Фур'є-аналізу.
7. Зробити висновки про доцільність вимірювання спектру та коефіцієнта гармонік за допомогою різних пристроїв та інструментів аналізу.

3.5 Контрольні запитання

1. Для чого призначені обмежувачі напруги?
2. Як зменшити вихідний опір ділянки напруги змінному струму?
3. Чим відрізняються рівні обмеження (при однакових напругах зміщення) для послідовної та паралельної схем?
4. Що таке коефіцієнт гармонік і які методи його вимірювання доступні у Multisim?
5. Що означає аббревіатура THD?
6. За допомогою яких пристроїв можна виміряти постійну напругу у Multisim?

Література

1. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
2. Анализ Фурье в Multisim / Компоненты и технологии, №3, 2015. – с. 141-142.

Лабораторна робота №4

Дослідження вхідних кіл аналогових та цифрових пристроїв

4.1 Теоретичні відомості

4.1.1 Загальні зауваження

Під вхідними колами будемо розуміти кола що призначення узгодження рівнів та опорів джерела сигналу і пристрою який розглядається. Наприклад, вхідним пристроєм мікрофонного підсилювача є підсилювач з низьким рівнем шуму, високим коефіцієнтом підсилення і лінійною частотною характеристикою у всьому звуковому діапазоні.

Вхідним пристроєм цифрового частотоміру буде або підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення та включеним після нього формувачем імпульсів, чи компаратор напруги.

Окрім підсилення, узгодження опорів та рівнів вхідні пристрої часто виконують і функції захисту від занадто високої напруги на вході пристрою.

Але завжди основою вхідних пристроїв є підсилювач. Тому потрібно знати основні параметри та схеми включення підсилювачів для того щоб вірно їх використовувати.

4.1.2 Класифікація та основні параметри операційних підсилювачів

Класифікація ОП.

Усі операційні підсилювачі мають або внутрішню корекцію АЧХ, або зовнішню. В останньому випадку до виводів ОП підключаються зовнішні пасивні елементи. Більшість сучасних ОП мають захист від короткого замикання на виході.

Залежно від призначення ОП можна підрозділити на кілька груп:

Універсальні ОП (загального застосування) – мають середні характеристики, невелику вартість і застосовуються в більшості пристроїв.

Прецизійні ОП використовуються для підсилення малих сигналів в інформаційно-вимірjuвальній апаратурі. Такі ОП повинні мати великий коефіцієнт підсилення, малий рівень шумів, малі значення напруги зсуву, дрейфу напруги зсуву й дрейфу різниці струмів.

Підсилювачі з нульовим дрейфом. Для підсилення малих сигналів постійного струму й сигналів низької частоти.

Швидкодіючі ОП використовуються для перетворення високочастотних сигналів. Вони характеризуються високою швидкістю наростання вихідного сигналу, малим часом устанавлення, високою частотою одиничного підсилення f_t . Для таких ОП звичайно швидкість зростання вихідної напруги більше 50 В/мкс

Мікропотужні ОП – відрізняються мінімальною споживаною потужністю. Споживаний струм іноді можна регулювати за допомогою зовнішнього резистора. Такі ОП іноді називаються програмованими.

Rail-to-rail ОП – підсилювачі в яких розмах вихідної напруги дорівнює напрузі живлення підсилювача.

Багатоканальні ОП – являють собою декілька ОП (звичайно 2, 3 або 4), розміщених в одному корпусі. Застосовуються для зниження масогабаритних показників.

Параметри ОП

1. **Коефіцієнт підсилення $K_{ибос}$** без зворотного зв'язку. Являє собою відношення вихідної напруги до різниці напруг на його входах при розімкненому ланцюзі зворотного зв'язку. У сучасних ОП K_u на постійному струмі (нульовій частоті) досягає значень від десятків і сотень тисяч до декількох мільйонів.

Коефіцієнт підсилення $K_{ибос}$ залежить від зміни напруги живлення, струму навантажувального пристрою, температури навколишнього середовища. Із цієї причини ОП (за винятком компараторів) не застосовують без ланцюгів зовнішнього зворотного зв'язку, які стабілізує коефіцієнт підсилення.

2. **Напруга зсуву (зміщення) $U_{зм}$** . Визначається як напруга на виході ОП при нульовій напрузі на його вході. Напруга зсуву з'являється внаслідок розкиду параметрів елементом ОП або змін режимів роботи вхідних транзистором за рахунок неузгодженості у вхідних ланцюгах ОП. Напруга зсуву залежить від температури й напруги джерела живлення. Зміна $U_{зм}$ залежно від температури для ОП широкого застосування становить приблизно 50 мкВ/гради.

3. **Вхідний струм $I_{вх}$** . Це струм у вхідному ланцюзі ОП, який може скласти 0,001...100 мкА. Його необхідно враховувати при підключенні до обох входів ОП зовнішніх електричних кіл. Якщо опір зовнішнього електричного кола по входу, що інвертує, відрізняється від опору по неінвертуючому входу, то різниця падіння напруги на них викликає появу додаткової напруги зміщення. Для виключення цього явища опори по обох входах ОП треба зробити рівними.

4. **Вхідний опір $R_{вх}$** . Розрізняють вхідні опори для диференціального сигналу ($R_{вх,д}$) і синфазного сигналу ($R_{вх,сф}$) Для одержання більшого вхідного опору перший каскад ОП

виконують на польових транзисторах; $R_{\text{вх.д}}$ має значення від декількох кілоом для біполярних транзисторів до декількох одиниць і десятків мегаом для польових транзисторів, а $R_{\text{вх.сф}} > 100 \text{ Мом}$.

5. Вихідний опір $R_{\text{вих}}$. Цей опір, обмірюване з боку навантажувального пристрою, являє собою внутрішній опір вихідних каскадів ОП. Значення $R_{\text{вих}} = 0,2 \dots 20 \text{ Ом}$.

Для підсилення аналогових сигналів основним параметром є **смуга пропускання ОП** (область частот у якій АЧХ спадає на 3 дБ), а для підсилення імпульсних сигналів найважливішим параметром є **швидкість зростання вихідної напруги**.

6. Для характеристики частотних властивостей використовують два параметри:

- частота зрізу f_c , значення якої відповідає зниженню модуля коефіцієнта підсилення ОП в 1,41 рази, тобто на 3 дБ;
- частота одиничного підсилення f_t (у англійськомовній літературі BW) – значення якої відповідає точці АЧХ у якій коефіцієнт підсилення підсилювача без зворотного зв'язку зменшується до 1.

Для підсилювачів із внутрішньою корекцією (не потребуючих підключення зовнішніх пасивних ланцюгів для забезпечення стійкої роботи) приблизно виконується умова

$$f_t = K_u \cdot \Delta f = \text{const},$$

де K_u – коефіцієнт підсилення ОП з від'ємним зворотнім зв'язком, Δf – смуга пропускання підсилювача. **З рівняння витікає що смуга пропускання ОП залежить від коефіцієнта підсилення $\Delta f = f_t / K_u$.**

Швидкість зростання вихідної напруги. Це найбільша швидкість зміни вихідної напруги ОП при подачі на його вхід прямокутного імпульсу. Швидкість зростання визначається як відношення $V_z = \Delta U_{\text{вих}} / \Delta t$ (для сучасних ОП $V_z = 0,1 \dots 5000 \text{ В/мкс}$).

Час установлення $t_{\text{уст}}$, що визначає зміну вихідної напруги ОП від рівня 0,1 до рівня 0,9 від максимальної вихідної напруги, що встановилася, при подачі на вхід прямокутного імпульсу.

Коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу. Одним з важливих достоїнств ОП є його здатність ослаблення синфазних сигналів яка характеризується *коефіцієнтом ослаблення синфазних сигналів* $K_{\text{осс}} = 20 \lg(K_{\text{сф}} / K_u)$ (для ОП широкого застосування ця величина 70...120 дБ).

Операційні підсилювачі розраховані на застосування симетричних різнополярних джерел живлення напругою від $\pm 1,5$ до $\pm 27 \text{ В}$. Застосування джерел живлення двох

полярностей спрощує схемні розв'язки й завдання компенсації зсуву нуля ОП, тобто появи непотрібної постійної складової струму в навантаженні.

4.1.3 Основні схеми підключення операційних підсилювачів

4.1.3.1 Інвертуючий підсилювач постійного струму

На рис. 4.1 наведена схема інвертуючого підсилювача і осцилограми сигналів на вході (червоний) і на виході підсилювача. Коефіцієнт підсилення такого каскаду дорівнює

$$K_u = -R_2 / R_1.$$

Знак мінус означає, що фаза сигналу на вході та виході відрізняються на 180 градусів. Вхідний опір такого підсилювача дорівнює значенню опору резистора R_1 .

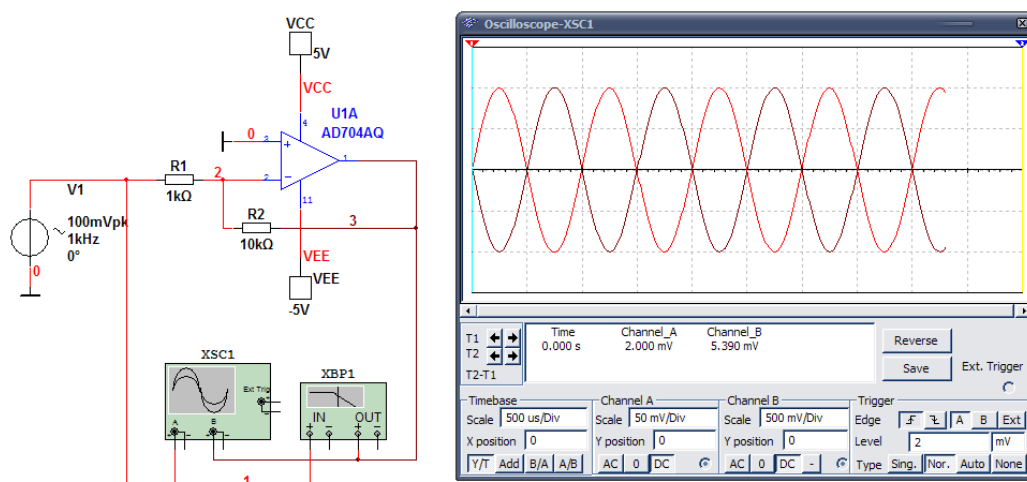


Рисунок 4.1 – Принципова схема інвертуючого підсилювача постійного струму

4.1.3.2 Неінвертуючий підсилювач постійного струму

На рис. 4.2 наведена схема інвертуючого підсилювача і осцилограми сигналів на вході (червоний) і на виході підсилювача. Коефіцієнт підсилення такого каскаду дорівнює

$$K_u = 1 + R_2 / R_1.$$

Вхідний опір такої схеми дорівнює вхідному опору ОП і приблизно може бути розрахований як $R_{BX} = U_{BX_MAX} / I_{BX}$, де U_{BX} – максимальна вхідна напруга ОП (дані з Data Sheet), I_{BX} – вхідний струм ОП.

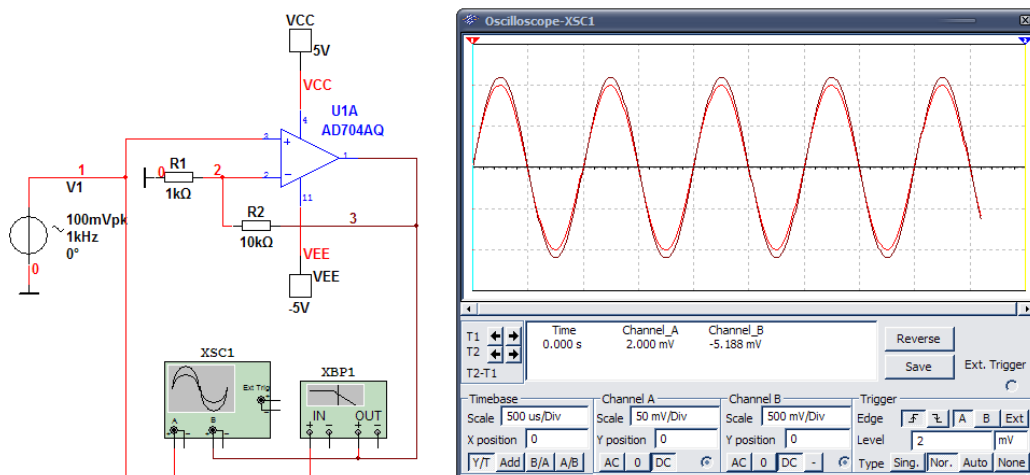


Рисунок 4.2 – Принципова схема неінвертуючого підсилювача постійного струму

4.1.3.3 Повторювач напруги

Схема повторювача напруги наведена на рис. 4.3. Коефіцієнт підсилення схеми дорівнює 1.

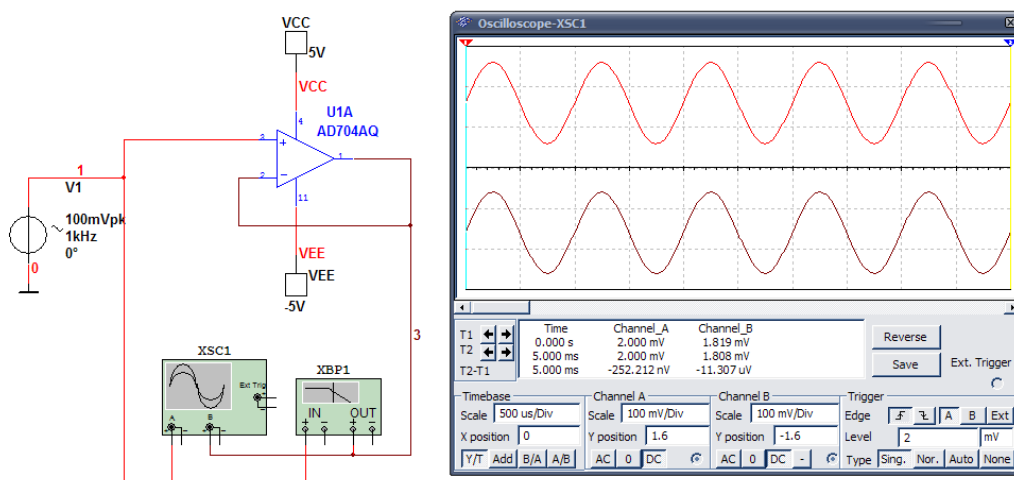


Рисунок 4.3 – Принципова схема повторювача напруги

4.1.3.4 Інвертуючий суматор напруги

Схема інвертуючого суматора наведена на рис. 4.4. Вихідна напруга може бути знайдена з наступного співвідношення

$$U_{\text{вих}} = -(U_1 R_2 / R_1 + U_2 R_3 / R_1).$$

Якщо $R_1 = R_2 = R_3$ то вираз спрощується і $U_{\text{вих}} = -(U_1 + U_2)$.

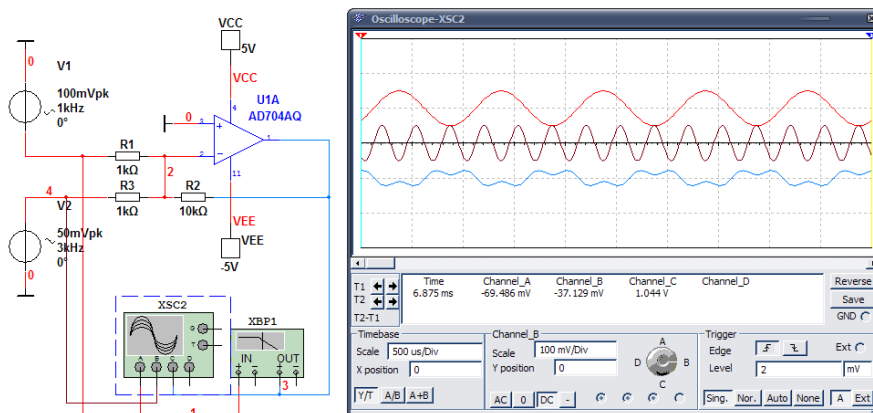


Рисунок 4.4 – Принципова схема інвертуючого суматора напруги

4.1.4 Зв'язок між коефіцієнтом підсилення та смугою пропускання підсилювача з від'ємним зворотним зв'язком

Як показано у п. 14.1.2 смуга пропускання підсилювача з від'ємним зворотним зв'язком залежить від коефіцієнта підсилення $\Delta f \approx f_T / K_u$. Проілюструємо це на прикладі моделей двох підсилювачів, що використовують однаковий ОП типу AD795BH. На рис. 4.5 наведена схема підсилювача без зворотного зв'язку ($K_u = 55$ дБ) і його АЧХ. Оскільки коефіцієнту передачі 1 дорівнює рівень 0 дБ, то треба знайти на АЧХ точку з таким значенням коефіцієнту передачі. Значення частоти у цій точці дорівнює 1,9 МГц (за паспортними даними $f_T = 1,6$ МГц для цього підсилювача).

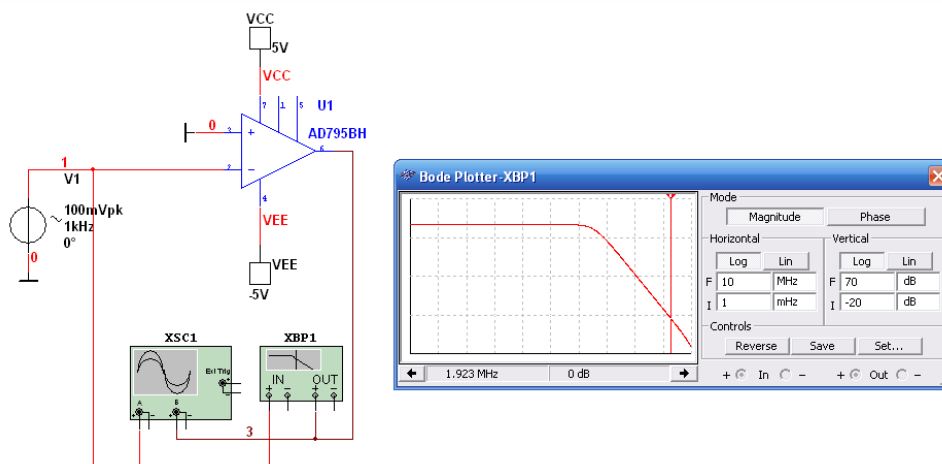


Рисунок 4.5 – Принципова схема для вимірювання частоти одиничного підсилення і результати вимірювання АЧХ

Перевіримо смугу пропускання підсилювача з коефіцієнтом підсилення 10 (рис. 4.6).

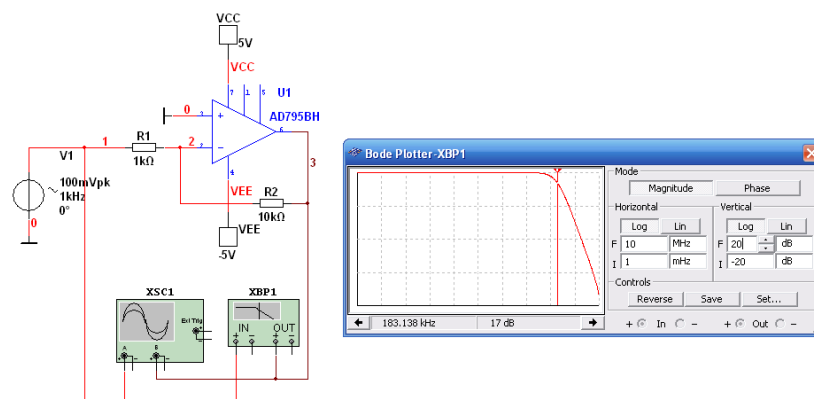


Рисунок 4.6 – Принципова схема інвертуючого підсилювача з коефіцієнтом підсилення 10 (20 дБ) і його АЧХ

Гранична частота підсилення по рівню -3 дБ (по відношенню до максимального рівня) складає 183 кГц. Тобто вона трохи менша, ніж знайдена з співвідношення $\Delta f \approx f_T / K_u$. Тому при розрахунку будь якого підсилювача треба враховувати цю властивість.

Розглянемо приклад. Треба побудувати мікрофонний підсилювач з коефіцієнтом підсилення 500 використовуючи операційний підсилювач AD795BH. Смуга пропускання підсилювача 20...20000 Гц. Вхідний опір 30 кОм.

Перевіряємо можливість побудови підсилювача на одній мікросхемі AD795BH.

$$\Delta f \approx f_T / K_u = 1,9 \cdot 10^6 / 500 = 3,8 \cdot 10^3 \text{ Гц.}$$

З розрахунку видно, що смуга пропускання не перевищує 3,8 кГц, що недостатньо. Розрахуємо максимальний коефіцієнт підсилення у смузі частот 20 кГц

$$K_{u\max} = f_T / \Delta f \approx 1900 / 20 = 95.$$

Підсилювач треба будувати використовуючи 2 ОП типу AD795BH, але коефіцієнт підсилення ні одного з них не повинен бути більшим ніж 95.

Для спрощення будемо вважати, що коефіцієнт підсилення першого і другого каскаду однакові і тоді $K_1 = K_2 = \sqrt{K_{\text{МП}}} = \sqrt{500} = 22,36$. Приймаємо з запасом коефіцієнт підсилення кожного каскаду рівним 25.

Оскільки постійний струм підсилувати не потрібно, то треба використати підсилювач змінного струму. Для більшої стійкості підсилювача краще зробити його інвертуючим. Для

цього перший каскад зробимо неінвертуючим, а другий – інвертуючим. Схема підсилювача змінного струму наведена на рис. 4.7.

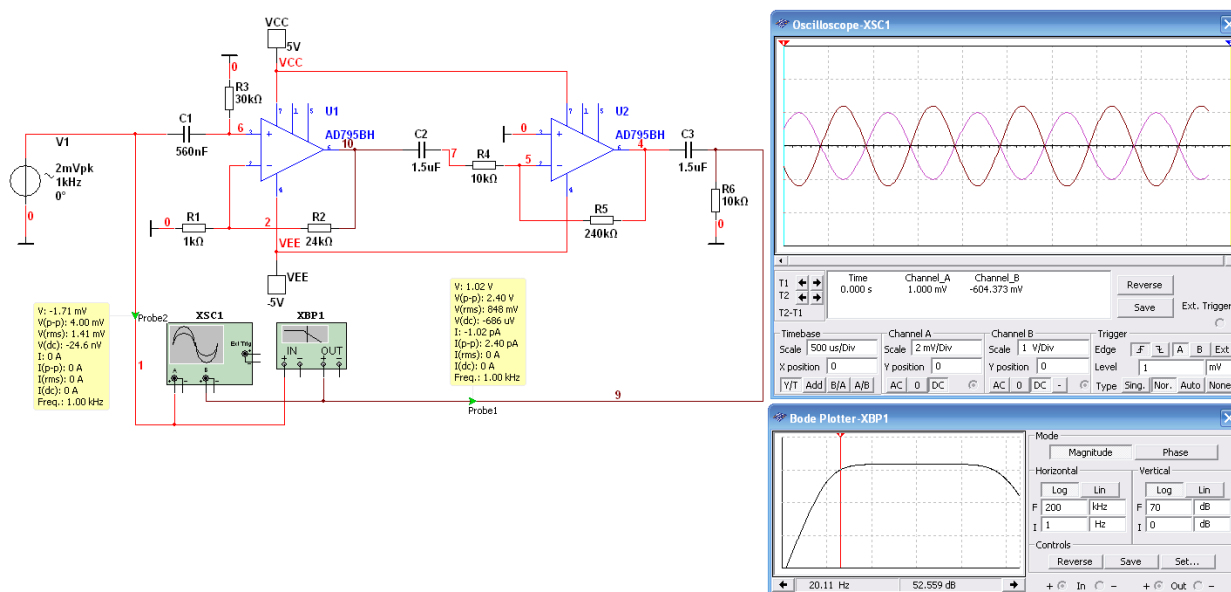


Рисунок 4.7 – Принципова схема двокаскадного підсилювача з коефіцієнтом підсилення 601 (55,4 дБ) і смугою пропускання 20...48000 Гц

Вхідний опір першого каскаду дорівнює опору резистора R3. Ємність розділового конденсатора розраховується за формулою $C_p \geq K_{\Pi} / (2\pi R_{\text{вх}}) \geq 2 / (2\pi R_{\text{вх}})$, де $R_{\text{вх}}$ – вхідний опір каскаду, що включений після розділового конденсатора (або опір навантаження), $f_{\text{н}}$ – нижня частота робочого діапазону. Ємність обирається з урахуванням ряду E12.

Вхідний опір першого каскаду 30 кОм. З урахуванням цього $C_p \geq 2 / (2\pi f_{\text{н}} R_{\text{вх}}) \geq 1 / (6,28 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 10^3) = 0,54$ мкФ. Приймаємо ємність розділового конденсатора C1 рівною 0,56 мкФ.

Тоді ємність C2 та C3 буде у 3 рази більше і дорівнює приблизно 1,5 мкФ.

Якщо потрібно побудувати неінвертуючий підсилювач, то краще використати два інвертуючих підсилювачі, що включені послідовно, ніж два неінвертуючих включених послідовно (для більшої стійкості підсилювача).

Резистори треба обирати з ряду E24 (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Ряди номінальних значень E12 та E24

E12	1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E24	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.7	3
	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

4.2 Загальні відомості про компаратори напруги

Компаратори напруги – це пристрої що призначені для порівняння двох аналогових сигналів. Компаратор побудований на базі операційного підсилювача, на виході якого включений формувач імпульсів, що перетворює вихідну напругу операційного підсилювача в напругу логічного рівня. Компаратори як правило використовують для перетворення аналогових сигналів у цифрові. Компаратори з малим коефіцієнтом підсилення мають більш висока швидкодію у порівнянні з компаратором з більшим коефіцієнтом підсилення.

На рис. 4.8 наведена схема компаратора побудованого на дискретному ОП та транзисторному ключі, що формує на виході рівні від 0 до 5 В.

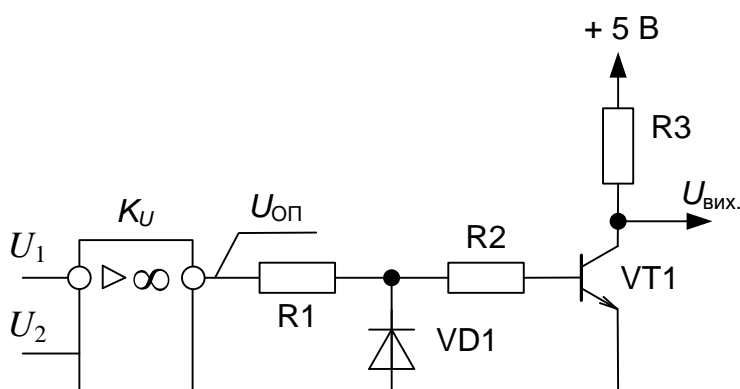


Рисунок 4.8 – Принципова схема компаратора на базі операційного підсилювача з формувачем логічних рівнів на транзисторному ключі

На схемах компаратор позначається так, як показано на рис. 4.9.

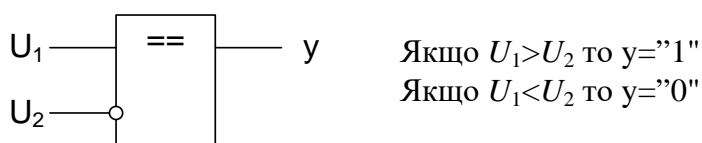


Рисунок 4.9 – Позначення компаратора на принципових схемах та алгоритм його роботи

Якщо напруга на неінвертуючому вході компаратора більша ніж на інвертуючому, то на його виході встановлюється логічна "1", а якщо напруга більша на інвертуючому вході – то "0".

Компаратори випускаються в інтегральному виконанні і характеризуються коефіцієнтом підсилення та часом затримки спрацювання (часом встановлення).

Розглянемо на що впливає коефіцієнт підсилення компаратора на прикладі. Нехай коефіцієнт підсилення компаратора дорівнює 1000. Пороговий рівень логічної мікросхеми

КМОН дорівнює 2,5 В при напрузі живлення 5 В. При якому мінімальному рівні сигналу спрацює компаратор?

Для цього достатньо пороговий рівень поділити на коефіцієнт підсилення

$$U_{\text{вх. min}} > U_{\text{пор}}/k_u = 2,5/1000 = 2,5 \text{ мВ.}$$

Якщо чутливість потрібна більш висока, то треба обирати компаратор з більш високим коефіцієнтом підсилення.

На рис. 4.10 наведена схема підключення компаратора AD8561AR для вимірювання його часу встановлення. На обидва входи подають сигнали позитивної напруги. На інвертуючий вхід 100 мВ від джерела постійного струму, а на неінвертуючий – імпульс амплітудою 105 мВ. Приблизно час встановлення можна виміряти за допомогою осцилографа як час між моментом перетину порогового рівня 2,5 В вхідним імпульсом і моментом часу коли вихідна напруга компаратора сягне 0,9 від максимального рівні.

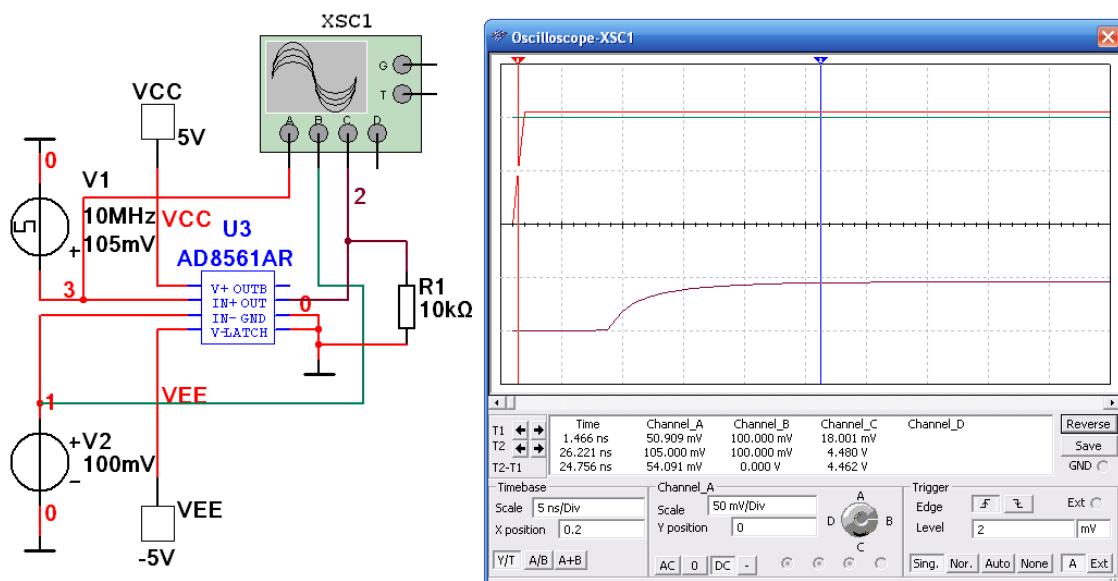


Рисунок 4.10 – Принципова схема для вимірювання часу встановлення компаратора AD8561AR

Для ілюстрації роботи компаратора на рис. 4.11 наведена схема і діаграми вхідного і вихідного сигналів компаратора. Зеленим позначена осцилограма сигналу на інвертуючому вході. Коли він стає більшим за рівнем ніж червоний сигнал (на неінвертуючому вході) на виході компаратора формується логічний "0".

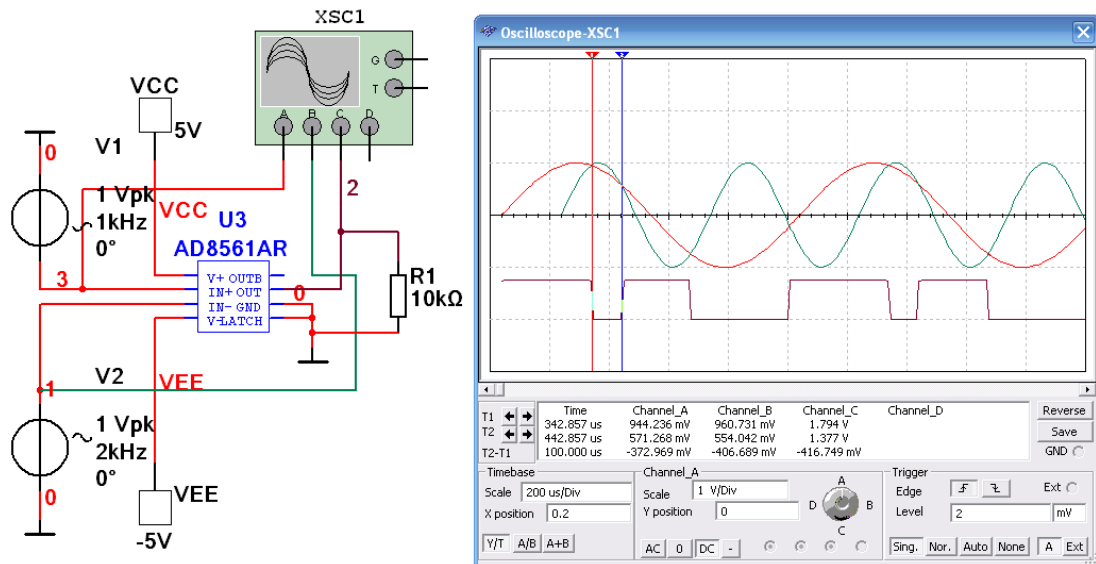


Рисунок 4.11 – Порівняння двох сигналів за допомогою компаратора AD8561AR

Регенеративний компаратор (тригер Шмітта)

Для зменшення впливу завад при перетворенні сигналів довільної форми у прямокутні використовують компаратор з позитивним зворотним зв'язком (рис. 4.12).

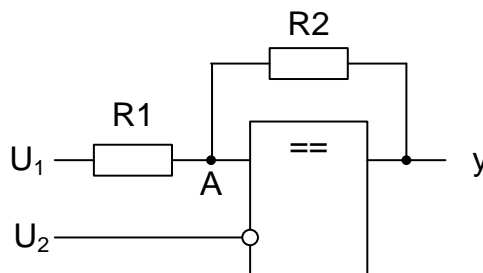


Рисунок 4.12 – Регенеративний компаратор

Як видно зі схеми, компаратор порівнює напругу U_2 з напругою у точці А. Розглянемо 2 випадки, тобто коли напруга на вході компаратора дорівнює логічній "1" і другий випадок – напруга на виході дорівнює "0".

Нехай $U_{\text{вих}} = "1"$ ($U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$). Тоді $U_A = U_1 + U_{R1}$. Падіння напруги на резисторі R_1 може бути розраховано за формулою

$$U_{R1} = R_1 \cdot i_{\text{ex}} = R_1 \cdot \frac{U_{\text{вих}} - U_1}{R_1 + R_2} = \Delta U_1.$$

Якщо $U_{\text{вих}} = "0"$ ($U_{\text{вих}} = 0 \text{ В}$), то напруга у точці А буде меншою ніж U_1 і може бути розрахована за формулою $U_A = U_1 - U_{R1}$, де

$$U_{R1} = R_1 \cdot i_{\text{ex}} = R_1 \cdot \frac{U_1}{R_1 + R_2} = \Delta U_2.$$

З порівняння напруги у точці А для двох випадків витікає, що компаратор буде спрацьовувати в один бік (з "1" в "0") при одному рівні сигналів, а в інший бік (з "0" в "1") при іншому.

Амплітудна характеристика регенеративного компаратора наведена на рис. 4.13. З неї слідує, що коли напруга на вході компаратора перевищить значення $U_1 + \Delta_1$ то компаратор переключиться з "1" в "0", а коли на вході компаратора напруга зменшиться до величини $U_1 - \Delta_2$, він переключиться з "0" в "1".

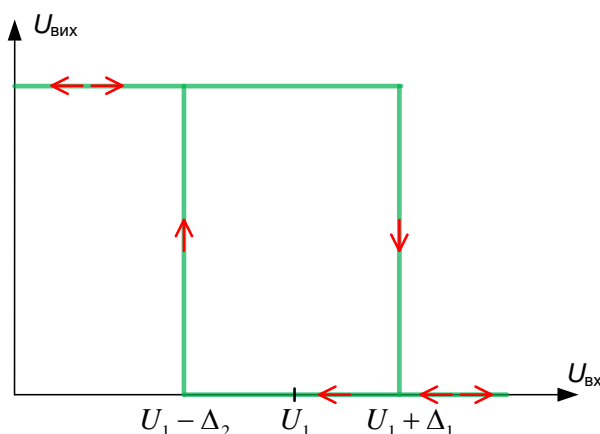


Рисунок 4.13 – Амплітудна характеристика регенеративного компаратора

Форма амплітудної характеристики нагадує криві намагнічування магнітних матеріалів яка має назву **крива гістерезиса**. По аналогії так її називають і для регенеративних компараторів (тригерів Шмітта). Ця крива показує що в середині неї зміни сигналу не викликають перемикання компаратора.

Проілюструємо це на прикладі (рис. 4.14). За допомогою осцилографа можна порівнювати сигнали на виході звичайного і регенеративного компаратора. На обидва компаратори подаються однакові сигнали.

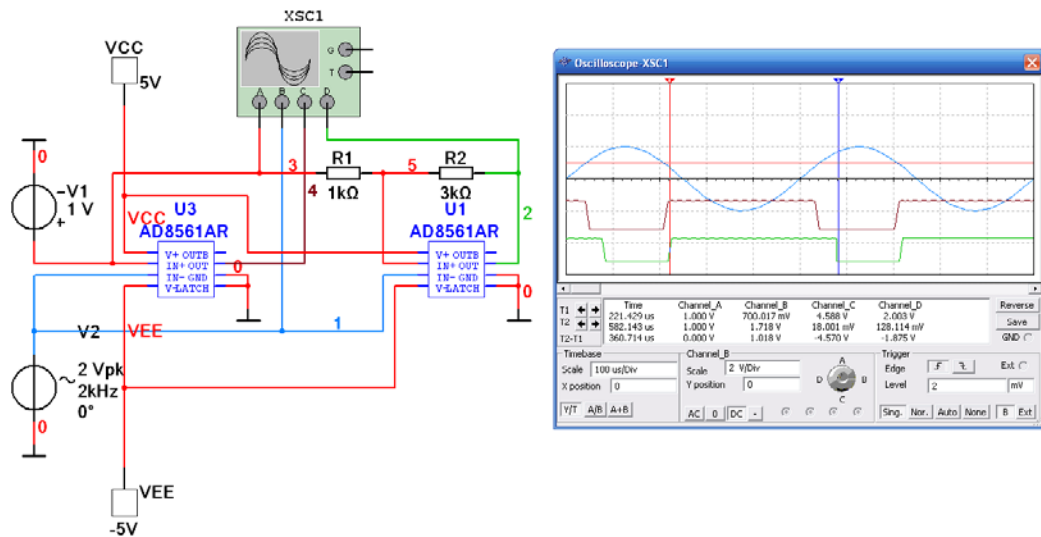


Рисунок 4.14 – Порівняння роботи звичайного і регенеративного компаратора

Як слідє з рис. 4.14 з "0" в "1" компаратор перемикається коли вхідна напруга (синього кольору) стає меншою ніж V1 (червоного кольору), і навпаки.

На рис. 4.15 наведено модель у якій на вхід регенеративного компаратора подається сума сигналу (червоного кольору) і завади (зеленого кольору), що формується за допомогою суматора A1. Сигнал на виході (синього кольору) чіткий, а на рис. 4.16 показано як буде виглядати сигнал на виході при відсутності гістерезису. Сигнал завади викликає перемикування компаратора і сформувати чіткі границі сигналу неможливо.

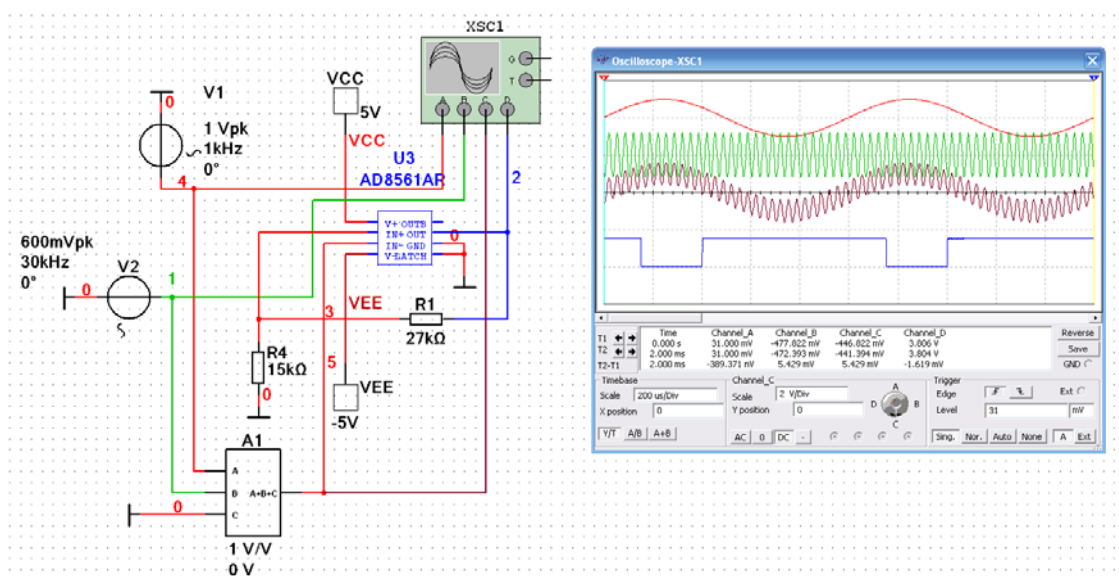


Рисунок 4.15 – Реакція регенеративного компаратора на дію сигналу з завадою

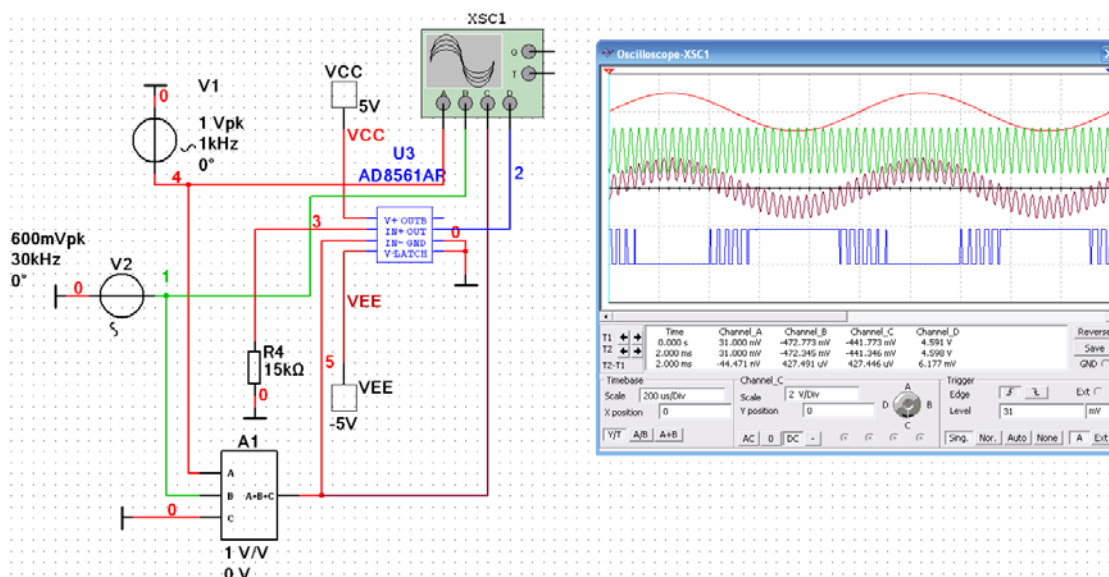


Рисунок 4.16 – Реакція звичайного компаратора на дію сигналу з завадою

4.3 Мета роботи

Ознайомитися з принципом роботи і основними схемами включення операційних підсилювачів та компараторів. Знати основні параметри ОП та компараторів та вміти оцінити їх вплив на характеристики вихідних сигналів підсилювачів та перетворювачів сигналів на основі компараторів.

Для проведення досліджень властивостей аналогових входних пристроїв зібрати модель підсилювача, параметри якого вказані в табл. 4.2 для кожної бригади.

Для проведення досліджень компараторів зібрати модель з параметрами, що вказані в табл. 4.3.

4.4 Домашнє завдання і порядок виконання роботи

4.4.1 Завдання 1

1. Розробіть модель підсилювача з використанням вказаних у табл. 4.2 мікросхем.
2. Виміряйте частоту одиничного підсилення Вашого ОП.
3. Розрахуйте коефіцієнти підсилення окремих каскадів.
4. Розрахуйте розділові ємності.
5. Для допуску до виконання лабораторної роботи необхідно представити діючі моделі і розрахунки параметрів схеми.

Таблиця 4.2. Параметри для розрахунку підсилювача

№ бригади	Нижня частота робочого діапазону, Гц	Верхня частота робочого діапазону, кГц	Коефіцієнт поділення	Вхідна напруга мін/макс., В	Вхідний опір, кОм	Підсилювач	Тип ОП	Що треба виміряти	Напруга живлення, В
1	100	10000	30	0,05/0,5	30	інвертуючий	AD812	АЧХ, K_T	± 18
2	50	100	400	0,005/0,05	50	неінвертуючий	AD713	АЧХ, V_3	± 15
3	20	1000	100	0,01/0,1	10	інвертуючий	AD746	АЧХ, K_T	± 12
4	10	3000	200	0,005/0,05	20	неінвертуючий	AD8001	АЧХ, V_3	± 10
5	300	15000	64	0,01/0,1	1	інвертуючий	AD8004	АЧХ, K_T	± 6
6	150	20000	120	0,004/0,1	2	неінвертуючий	AD8057	АЧХ, V_3	± 5
7	75	30	70	0,01/0,1	100	неінвертуючий	AD706	АЧХ, K_T	± 15
8	35	3000	80	0,005/0,05	3	інвертуючий	AD8055	АЧХ, V_3	± 6
9	250	8000	65	0,004/0,01	0,6	неінвертуючий	AD8031	АЧХ, K_T	± 5
10	200	12000	60	0,005/0,05		інвертуючий	AD8038	АЧХ, V_3	± 5

4.2 Порядок виконання завдання 1

1. Встановити частоту вхідного сигналу рівній середньому значенню діапазону з табл. 4.2.
2. Задати мінімальну напругу на вході і виміряти АЧХ підсилювача.
3. Виміряти K_T при мінімальній напрузі на вході.
4. Задати максимальну напругу на вході і виміряти K_T . Для інших варіантів завдання виміряти швидкість зростання вихідної напруги за допомогою осцилографа.
5. Для початку формування звіту розмістити скріншот моделі досліджуваного підсилювача у текстовому файлі (після титульного аркушу). На титульному аркуші вказати № бригади, її склад присутній на роботі та назву роботи. Під скріншотом вказати рис. з порядковим номером.
6. Результати вимірювань навести ілюструючи скріншотами, на яких буде видно частоту і рівень вхідного сигналу а також результати вимірювання.
7. Порівняти отримані результати при різних значеннях вхідної напруги. Пояснити у висновках отримані результати.

4.4.3 Завдання 2

1. Розробіть модель регенеративного компаратора на базі ІМС AD8651 у відповідності з даними табл. 4.3.
2. Розрахуйте значення опорів резисторів компаратора.
3. Для допуску до виконання лабораторної роботи необхідно представити діючі моделі і розрахунки параметрів схеми.

Таблиця 4.3. Параметри для розрахунку компаратора

№ бригади	Верхня частота робочого діапазону, МГц	Вхідна напруга мін/макс., В на інвертуючому вході (sin)	Ширина петлі гістерезиса, В	Напруга на неінвертуючому вході, В (постійна)	Напруга живлення, В
1	10000	0,5/1,5	1	0,3	±5
2		0,05/1,8	0,8	0,2	
3		0,01/0,9	0,6	0,1	
4		0, 5/1,1	0,4	0,5	
5		0,1/1,8	1,2	0,2	
6		0,25/2,1	1,4	0,2	
7		0,08/0,8	0,5	0,2	
8		0,1/0,7	0,1	0,4	
9		0,3/0,6	0,3	0,1	
10		0,15/0,55	0,2	0,2	

4.4.4 Порядок виконання завдання 2

1. Виміряйте ширину петлі гістерезиса за допомогою осцилографа.
2. Виміряйте швидкість зростання вихідної напруги компаратора при двох значеннях напруги на вході.
3. Відключіть зворотний зв'язок і повторіть вимірювання швидкості зростання вихідної напруги компаратора.
4. Порівняти отримані результати отримані в п. 2 і 3. Поясніть у висновках отримані результати.
5. Звіт оформити аналогічно звіту з завдання 1.

Література

3. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.

Лабораторна робота №5

Основи роботи в Visio

5.1 Теоретичні відомості

5.1.1 Групування елементів

При створенні великих схем або складних рисунків буває необхідно клонувати (створювати копію) декількох об'єктів одночасно або трансформувати масштаб кількох або всіх елементів одночасно. Для цього в Visio передбачена операція "Групування" (меню Фігури / Групування) або комбінації клавіш Shift + Ctrl + g або тільки Ctrl + g. На рис. 5.1 показаний приклад Групування кількох фігур. Фігури, які необхідно згрупувати обводять інструментом "Показчик" після чого вони стають червоними і видно контур навколо цієї групи (рис. 5.1,а). Після виконання команди Ctrl + g група елементів приймає вигляд, показаний на рис. 5.1,б.

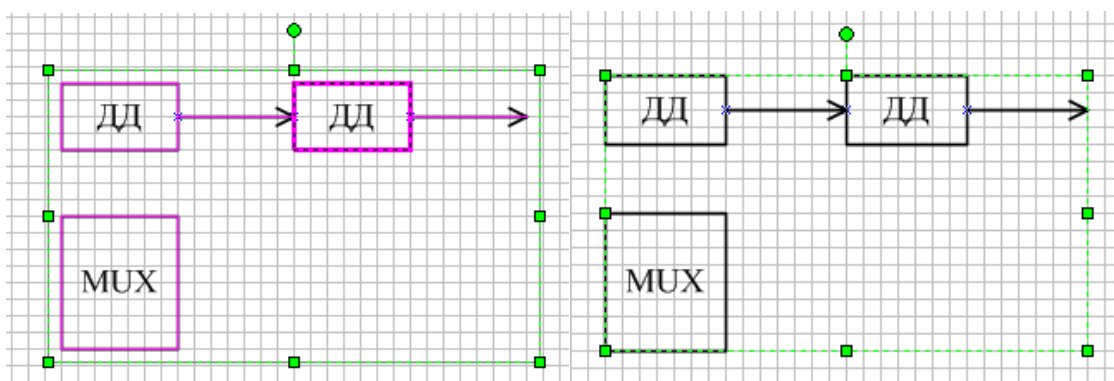


Рисунок 5.1 – Вигляд групи фігур до об'єднання в групу (а) і після об'єднання (б)

Тепер можна масштабувати або повертати одночасно всі елементи групи (рис. 5.2).

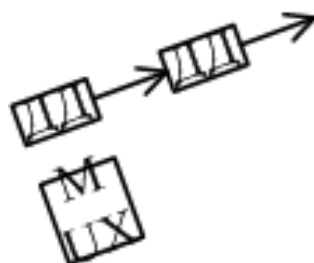


Рисунок 5.2 – Зменшена в 2 рази група елементів, повернена на кут 20 градусів

Як видно з рис. 5.2 висота шрифту при цих трансформаціях не змінилася і необхідно зменшити його висоту, задавши розмір шрифту вручну на панелі інструментів "Форматування" (рис. 5.3).

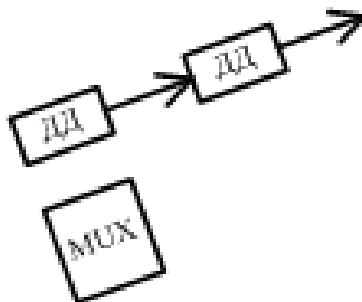
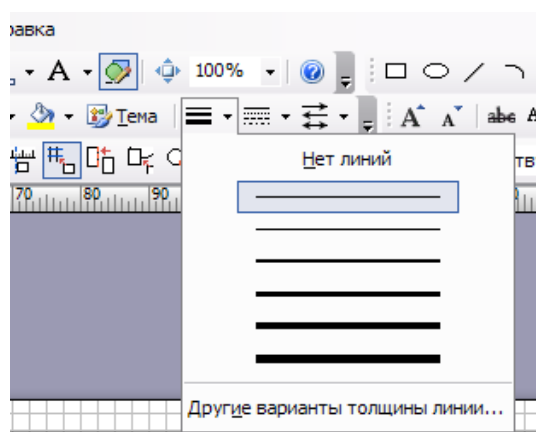


Рисунок 5.3 – Зменшення розміру шрифту для елементів, об'єднаних в групу

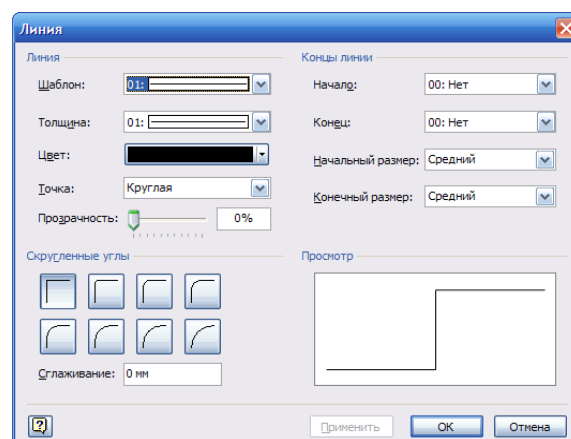
При необхідності можна розгрупувати групу елементів, виконавши команду Shift + Ctrl + u (де **u** позначає **ungroup**).

5.1.2 Стрілки та лінії

У Visio передбачена можливість вибору товщини і виду лінії, яка використовується для малювання елементів і зв'язків між ними. Для зміни товщини лінії слід натиснути на піктограму з трьома лініями різної товщини (рис. 5.4,а) і в випадаючому переліку ліній різної товщини вибрати потрібну. Якщо запропонований набір не задовольняє необхідних умов, слід натиснути на напис "Інші варіанти товщини ліній", розташованого в нижній частині випадаючого переліку (рис. 5.4,б).



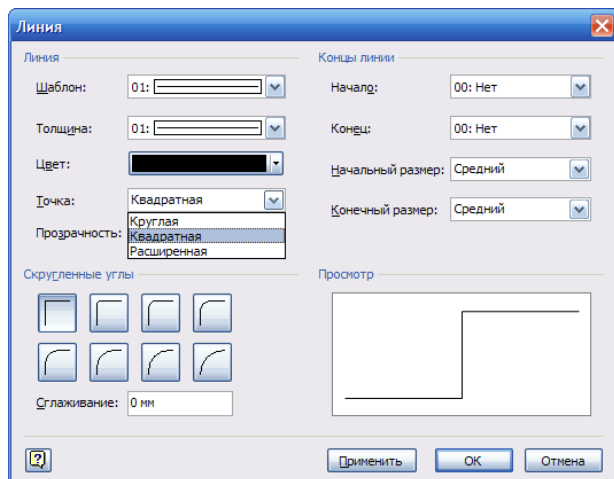
а)



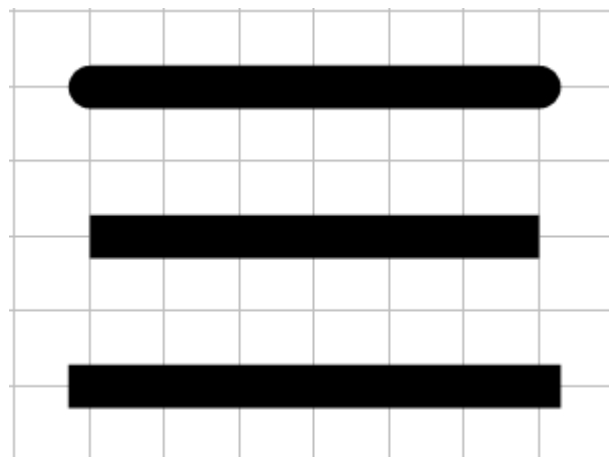
б)

Рисунок 5.4 – Меню вибору товщини ліній (а) і розширене меню параметрів ліній (б)

У розширеному меню можна задати не тільки товщину, колір, шаблон лінії, але і якою буде точка (кінець лінії) – округленої ("кругла" у рядку точка), квадратна або розширена (рис. 5.5,а). Вид лінії при різних варіантах "точки" наведено на рис. 5.5,б.



а)



б)

Рисунок 5.5 – Меню, що випадає параметрів точки лінії (а) і вид кінця лінії при різних установках (б)

У підменю "Закруглені кути" (рис. 5.5,а) можна вибрати різний радіус закруглення або задати радіус округлення вручну в рядку "Згладжування". На рис. 5.6 наведені приклади квадратів і ламаних ліній з різним радіусом закруглення кутів.

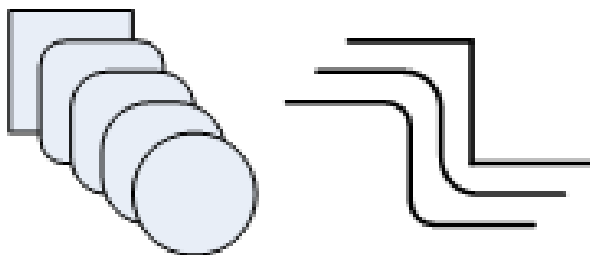


Рисунок 5.6 – Квадрати і ламані лінії з різним радіусом заокруглення кутів

Слід зазначити, що якщо ламана лінія побудована складається з окремих, які пов'язаних між собою відрізків, заокруглень в місцях зламу не буде.

Для зміни шаблону лінії (типу лінії) слід виділити необхідну лінію і натиснути на піктограму "Шаблон лінії" (рис. 5.7). У спадному переліку шаблонів ліній слід вибрати потрібний, або перейти в розширений режим "Інші шаблони ліній" (рис. 5.4,б) і там вибрати шаблон у рядку "Шаблон" (рис. 5.7,б).

На схемах і кресленнях часто доводиться використовувати стрілки для вказівки напрямів зв'язків, розмірів, осей та ін. Щоб встановити на кінці лінії стрілку необхідно намалювати лінію і виділити її, після чого натиснути на піктограму "Кінці ліній" (рис. 5.8,а) і вибрати потрібну стрілку ліворуч, праворуч або з обох сторін лінії. Якщо подані у випадяючому переліку стрілки не задовольняють користувача, слід перейти в розширене меню "Інші кінці ліній" (рис. 5.4,б) і вибрати тип кінця лінії, його розмір і положення. Для початку і кінця лінії параметри задаються окремо (рис. 5.8,б).

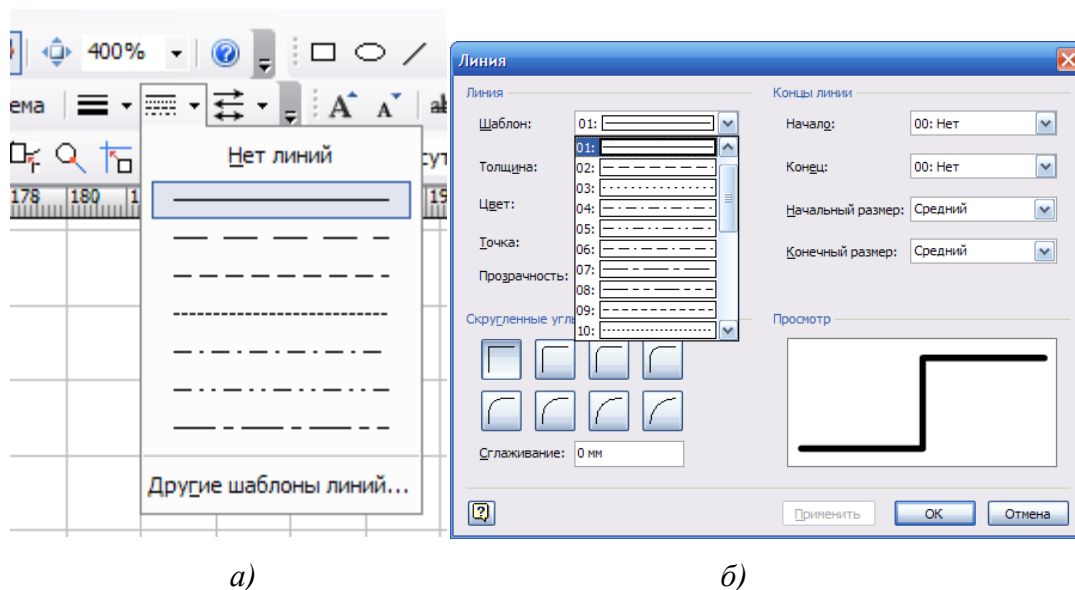


Рисунок 5.7 – Меню выбора шаблону линий (а) и расширенное меню параметров линий (б)

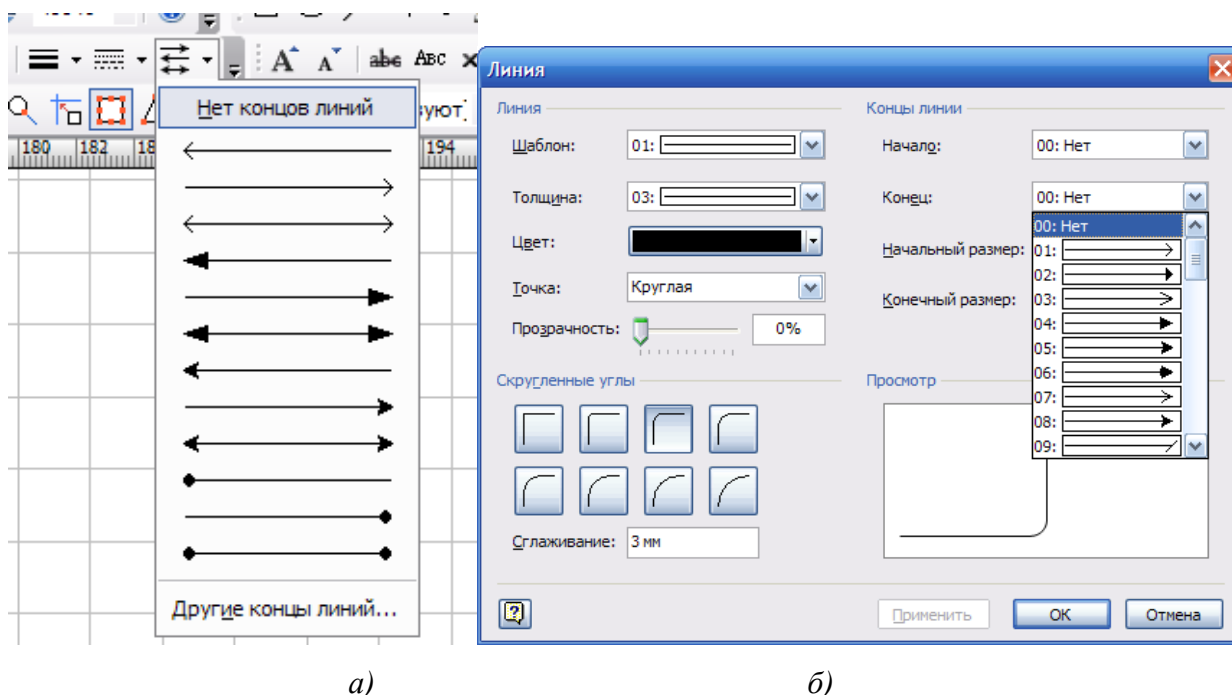


Рисунок 5.8 – Меню выбора концов линий (а) и расширенное меню концов линий (б)

Слід пам'ятати, що при підготовці структурних та функціональних схем слід використовувати стрілку номер 03 з розширеного переліку кінців ліній. Розмір слід задавати виходячи з розмірів функціональних блоків, зображених на схемі. Розмір задається у віконці "Кінцевий розмір" або "Початковий розмір" (рис. 5.9, а). На рис. 5.9, б показані приклади з різним розміром кінців ліній.

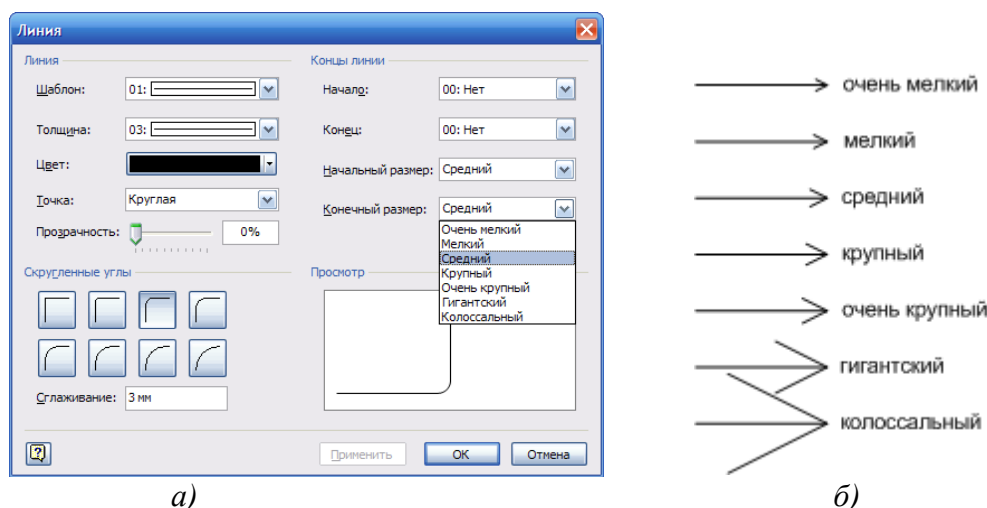


Рисунок 5.9 – Розширене меню розмірів решт (а) і приклади різних розмірів кінців ліній стрілки номер 03 (б)

5.2 Мета роботи

Ознайомитися з призначенням та інтерфейсом програми Microsoft Visio, отримати навички створення функціональних схем пристроїв у Visio.

5.3 Завдання

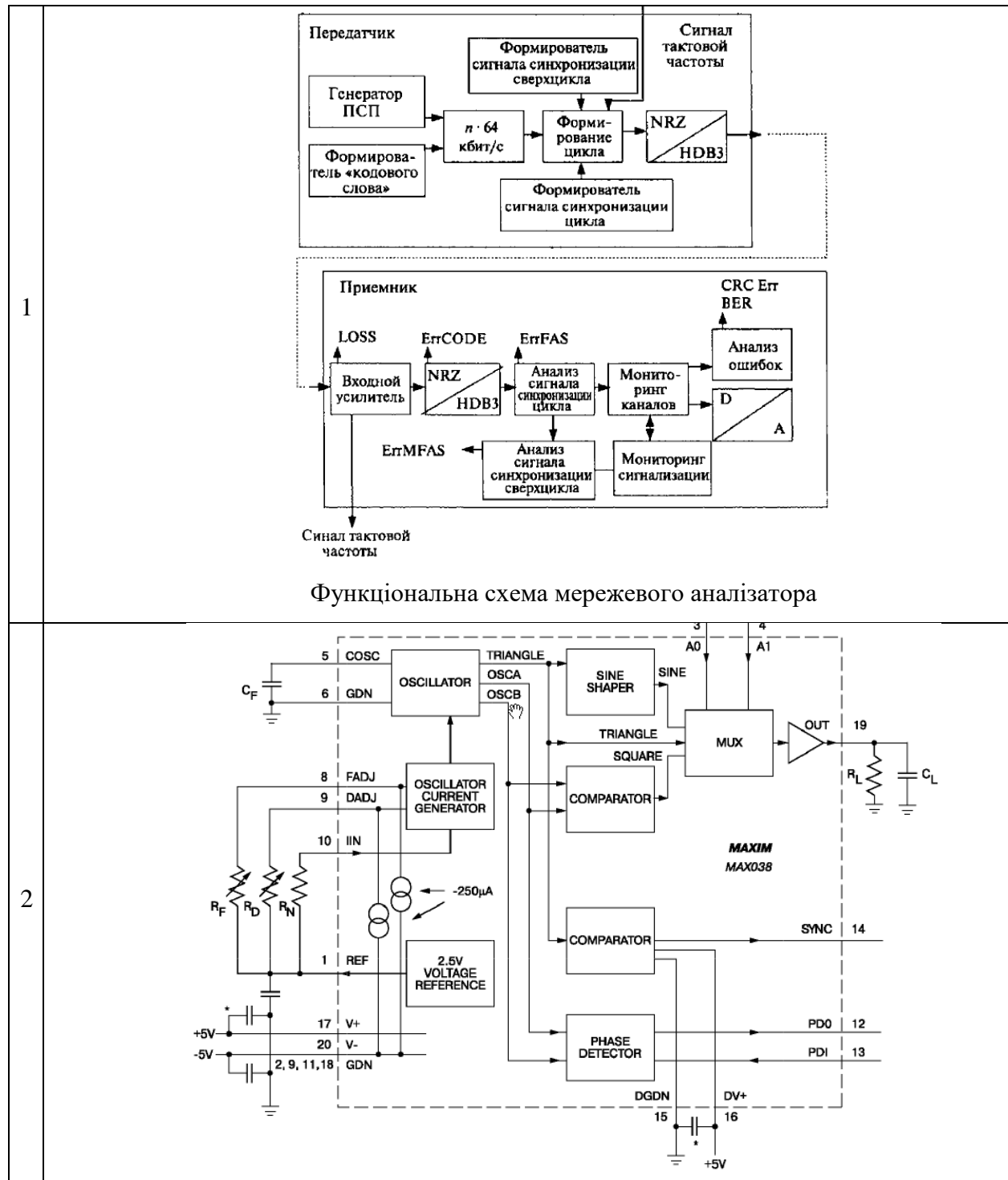
Створити в Visio функціональну схему вимірювального пристрою у відповідності до вимог ЄСКД. Варіанти схем пристроїв наведені в табл. 5.1.

5.4 Порядок виконання роботи

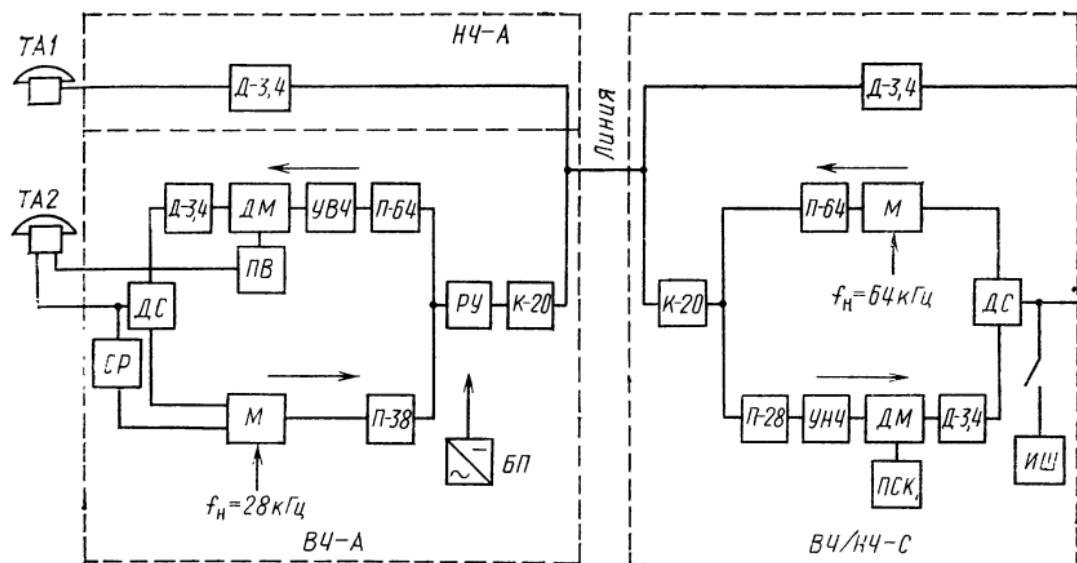
1. Ознайомитися з теоретичними відомостями, метою і завданням.
2. Створити в Visio функціональну схему вимірювального пристрою.
3. У створюваній схемі лінії зв'язку, стрілки та будь-які елементи повинні відповідати позначенням у відповідності до державних стандартів (до ЄСКД).

4. Схему оформити у форматі А3 зі штампом. У штампі вказати назву пристрою, який вид схеми (у відповідності до ЄСКД), прізвище виконавців. Одного виконавця у штампі, а інших на полі креслення з вказанням номера бригади.
5. Зберегти схему у файлі, вказавши в імені файлу назву схеми (довільні назви не допускаються).
6. Підготувати звіт виконаної роботи.

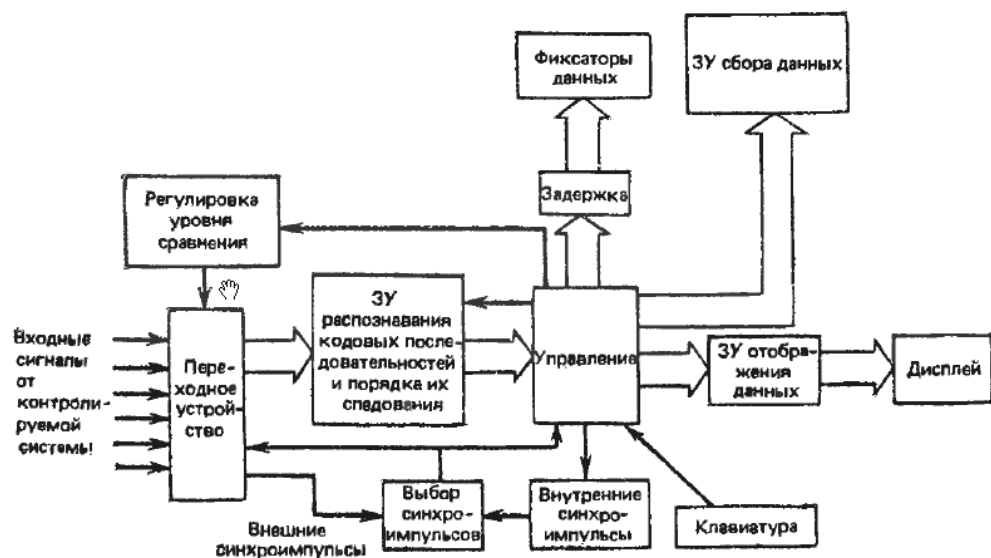
Таблиця 5.1 – Варіанти завдань



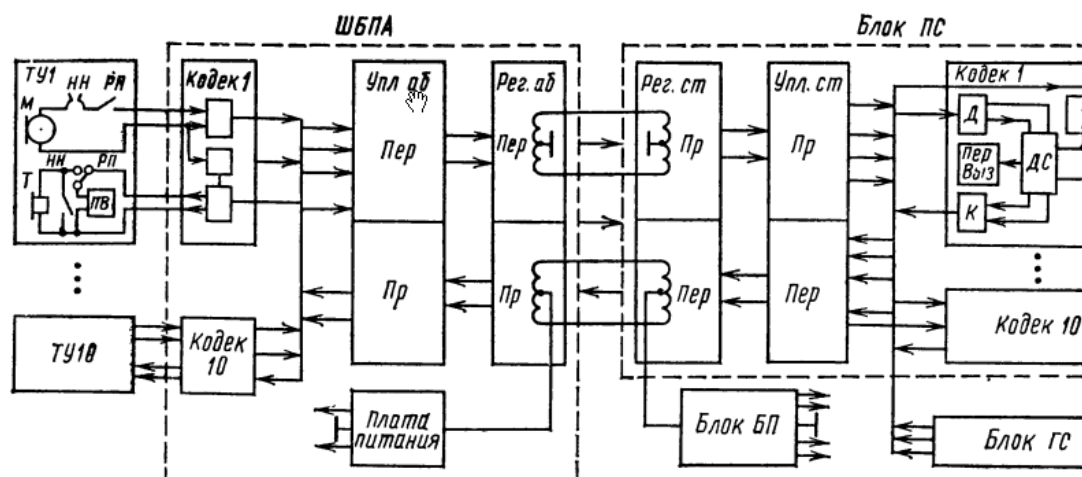
Функціональна схема функціонального генератора



Функціональна схема абонентської установки

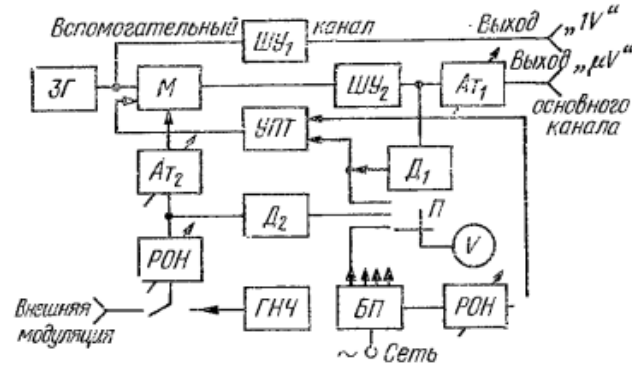


Структурна схема логічного аналізатора



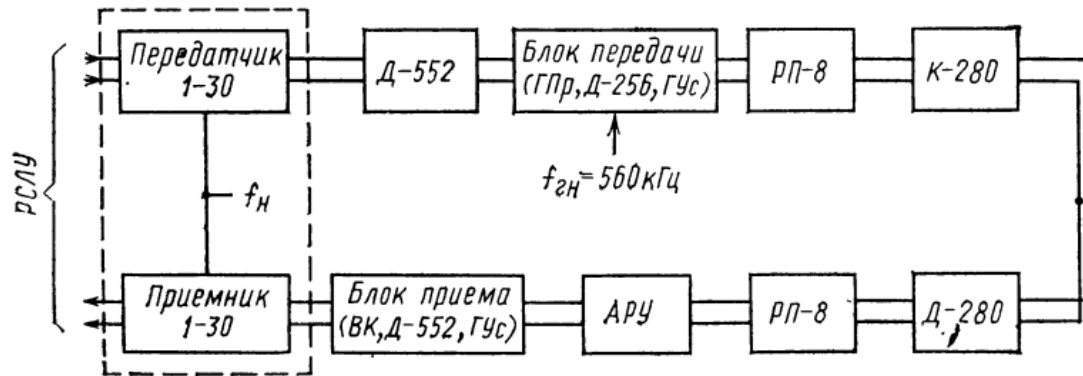
Функциональная схема абонентской установки с дельта модуляцией

6



Генератор радиомовного діапазону

7

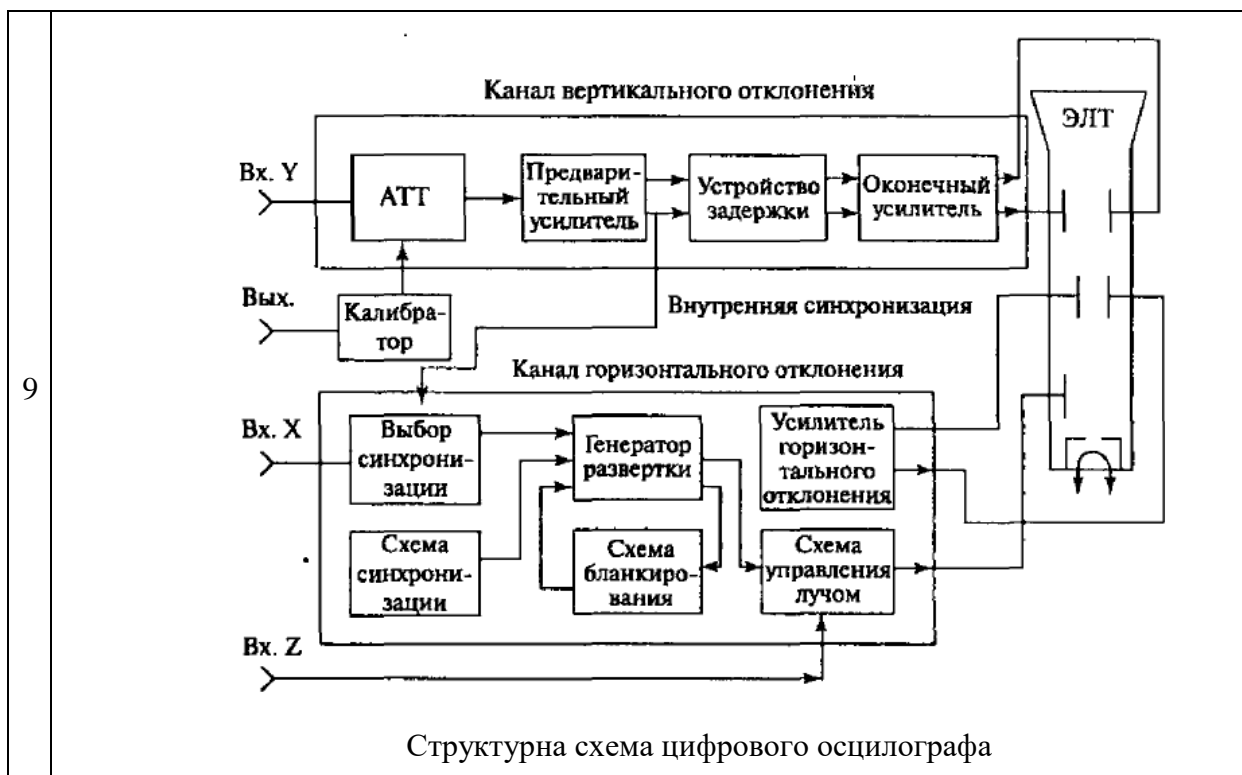


Функциональная схема конечной станции зв'язку

8



Структурна схема центру обслуговування



5.5 Контрольні запитання

1. Як контролювати параметри фігур і ліній в Visio?
2. Як можна задати кут повороту фігури, її розмір?
3. Які лінії і стрілки можна використовувати для оформлення функціональних схем?
4. Як змінюються параметри ліній і стрілок? Які інструменти можна для цього використовувати?

5.6. Оформлення звіту

1. Титульний лист: номер роботи варіант та ПІБ студента.
2. Тема, мета, завдання згідно варіанту.
3. Хід виконання роботи (покроковий опис, з поясненням вибраних опцій).
4. Схема функціональна чи структурна, що створювалась під час виконання роботи.
5. Висновки щодо можливостей та функціоналу Visio у проектуванні принципових електричних схем та електронних систем взагалі.
6. Посилання на використану літературу чи мережеві ресурси.
7. Звіт можна здавати як в електронному вигляді, так і надрукований на папері. До звіту додається файл Visio з розробленою схемою.

Література

1. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
2. Основні вимоги до оформлення атестаційних робіт, дипломних та курсових проектів: методичні рекомендації для студентів усіх форм навчання факультету електроніки / Укладачі: В.В. Макаренко, К.О. Трапезон, А.М. Чермянін. - К.: ФЕЛ НТУУ “КПІ”, 2006. – 112 с.

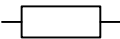
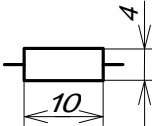
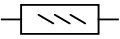
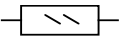
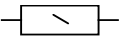
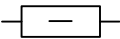
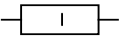
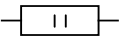
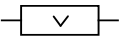
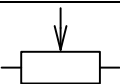
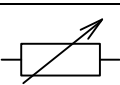
Лабораторна робота №6
Створення та редагування елементів принципових схем
у відповідності до ЄСКД у САПР ORCAD

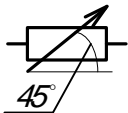
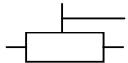
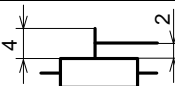

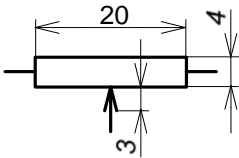

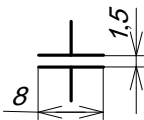



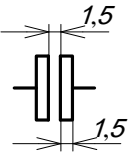




6.1 Теоретичні відомості



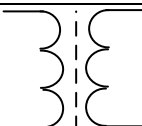
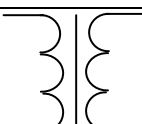


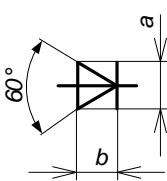


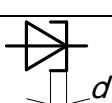


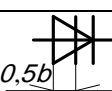
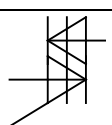
6.1.1 Умовні графічні позначення радіоелементів

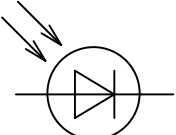
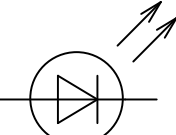
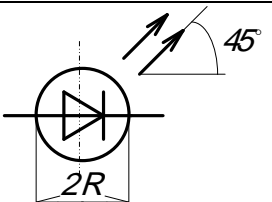
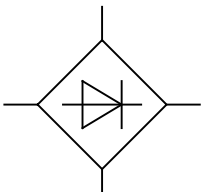
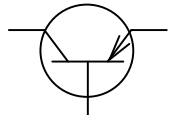
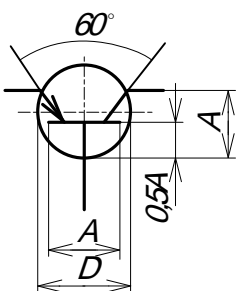
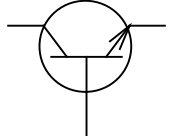
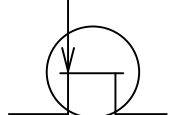
Розміри та загальний вигляд умовних графічних позначень (УГП) елементів, а також ГОСТ, за яким нормується кожне позначення представлені в табл.6.6.

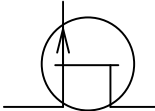
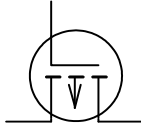
Таблиця 6.1 Умовні графічні позначення основних радіоелементів

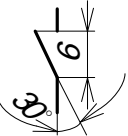
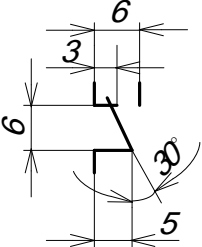
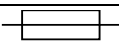


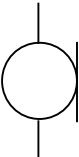
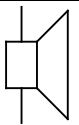
Умовне графічне позначення (УГП)	Назва
1	2
	Резистор постійний
	Розміри УГП резистора (мм)
Резистори постійні з номінальною потужністю розсіювання:	
	0.05 Вт
	0.125 Вт
	0.25 Вт
	0.5 Вт
	1 Вт
	2 Вт
	5 Вт
	Резистор змінний
	Резистор змінний з нелінійним регулюванням (загальне позначення)

1	2
	Резистор змінний з нелінійним регулюванням (розміри)
	Резистор підстроювальний (загальне позначення)
	Резистор підстроювальний (загальне позначення та розміри УГП)
	Потенціометр функціональний
	Розміри УГП потенціометра (мм)
	Конденсатор постійної ємності
	Розміри УГП конденсатора постійної ємності (мм)
	Конденсатор поляризований
	Конденсатор електролітичний неполяризований
	Конденсатор електролітичний поляризований
	Розміри УГП неполяризованого електролітичного конденсатора (мм)
	Конденсатор змінної ємності (загальне позначення)
	Конденсатор змінної ємності (розміри УГП)
	Конденсатор з підстроюванням
	Котушка індуктивності

1	2															
	Котушка індуктивності з магнітодіелектричним магнітопроводом															
	Котушка індуктивності з магнітодіелектричним магнітопроводом, що підстроюється															
	Трансформатор з магнітодіелектричним магнітопроводом															
	Трансформатор з феромагнітним магнітопроводом															
	Дросель з феромагнітним магнітопроводом															
	Діод															
<div></div>	<div>Таблиця 1</div> <table><tr><td>a, мм</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>b, мм</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>c, мм</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>d, мм</td><td>6.5</td><td>2</td></tr><tr><td>R, мм</td><td>5</td><td>6</td></tr></table> <div>Розміри УГП діода (значення a, b береться з табл. 1)</div>	a, мм	5	6	b, мм	4	5	c, мм	5	6	d, мм	6.5	2	R, мм	5	6
a, мм	5	6														
b, мм	4	5														
c, мм	5	6														
d, мм	6.5	2														
R, мм	5	6														
	Односторонній стабілітрон															
	Тунельний діод															
	Розміри УГП тунельного діода (значення d з табл. 1)															
	Варикап															
	Діод Шоткі															
	Тиристор діодний (значення розміру b з табл. 1)															
	Семістор															

1	2												
	Фотодіод												
	Випромінювальний діод або світлодіод												
	Розміри УГП світлодіода (значення R з табл. 1)												
	Однофазна мостова випрямна схема												
	Транзистор типу PNP												
	<div>Таблиця 2</div> <table><tr><td>D, мм</td><td>12</td><td>14</td></tr><tr><td>A, мм</td><td>9</td><td>11</td></tr><tr><td>a, мм</td><td>2,5</td><td>3,5</td></tr><tr><td>b, мм</td><td>3</td><td>4</td></tr></table> <div>Розміри УГП транзистора типу PNP (необхідні значення з табл. 2)</div>	D, мм	12	14	A, мм	9	11	a, мм	2,5	3,5	b, мм	3	4
D, мм	12	14											
A, мм	9	11											
a, мм	2,5	3,5											
b, мм	3	4											
	Транзистор типу NPN												
	Польовий транзистор з каналом N-типу												

1	2												
	<p>Таблиця 3</p> <table><tr><td>D, мм</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td></tr><tr><td>a, мм</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td>b, мм</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table> <p>Розміри УГП польового транзистора (див. табл. 3)</p>	D, мм	10	12	14	a, мм	5	6	7	b, мм	7	8	9
D, мм	10	12	14										
a, мм	5	6	7										
b, мм	7	8	9										
	Польовий транзистор з каналом Р-типу												
	Польовий транзистор з ізольованим затвором збідненого типу з Р-каналом												
	<p>Таблиця 4</p> <table><tr><td>D, мм</td><td>12</td><td>14</td></tr><tr><td>c, мм</td><td>4</td><td>5</td></tr></table> <p>Розміри УГП польового транзистора з ізольованим затвором збідненого типу з Р-каналом (значення наведено у табл. 4)</p>	D, мм	12	14	c, мм	4	5						
D, мм	12	14											
c, мм	4	5											
	Польовий транзистор з ізольованим затвором збідненого типу з N-каналом												
1	2												
	Польовий транзистор з ізольованим затвором збагаченого типу з N-каналом												
	Польовий транзистор з ізольованим затвором збагаченого типу з Р-каналом												
	Лампа розжарювання												
	Контакт комутаційного пристрою перемикаючий												
	Вимикач кнопковий, що натискається												

1	2
	Контакт комутаційного пристрою замикаючий
	Контакт комутаційного пристрою перемикаючий
	Запобіжник плавкий
	Елемент п'єзоелектричний з двома електродами
	Елемент п'єзоелектричний з трьома електродами
	Мікрофон
	Гучномовець

6.1.2 Розробка бібліотек простих елементів у програмі Orcad

Розробка моделей та створення принципових електричних схем в межах курсу здійснюється в програмному пакеті OrCAD 9.2.

Запустіть програму та виберіть з контекстного меню вкладку File → New → Library (рис. 6.1).

Програма створить нову бібліотеку та покаже її місце розташування. Місце розташування бібліотеки можна змінити, назву слід задати відповідно до номеру бригади. Після цього можна розпочати створення нового компоненту бібліотеки (рис. 6.2, 6.3).

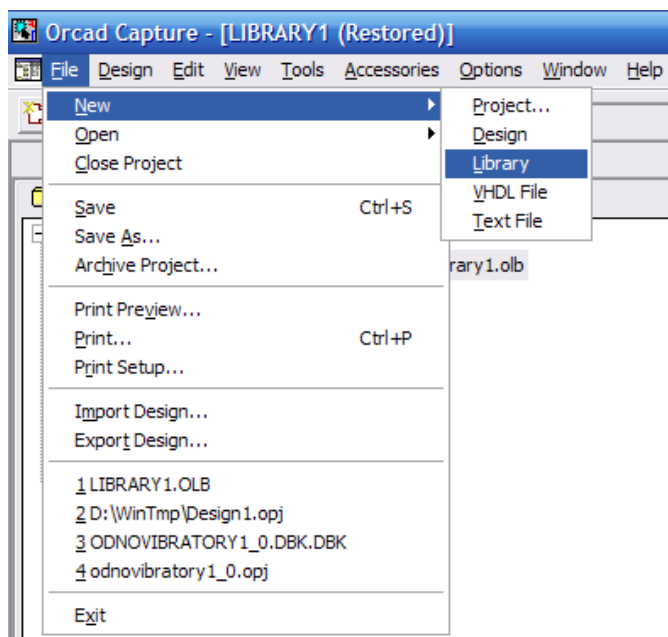
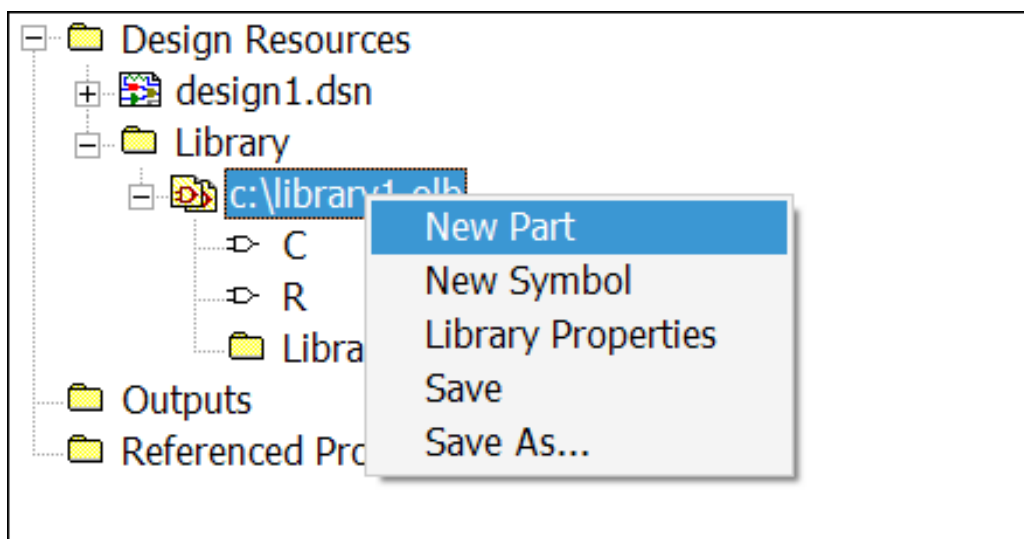


Рисунок 6.1 – Створення нової бібліотеки

Рисунок 6.2 – Додавання нового компонента в бібліотеку
(в бібліотеці вже присутні елементи під назвою C та R)

Вікно властивостей елемента передбачає введення назви елемента, Name, (бажано у відповідності до функціонального призначення), введення літерного позначення елемента відповідно ЕСКД, Part Preference Prefix, (наприклад C для конденсатора постійної ємності) та введення назви відповідної моделі для друкованої плати – PCB Footprint.

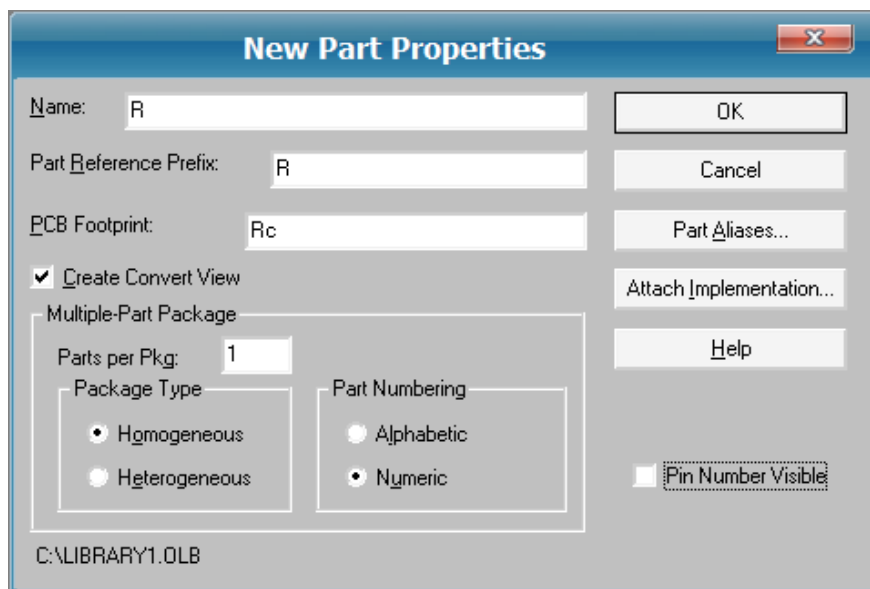



Рисунок 6.3 – Меню параметрів новостворюваного елемента

Точність переміщення ліній слід задати 0.1 від номінальної (кнопка , Snap to Grid).

На новоствореному елементі відображуються номери виводів, назви виводів, значення присвоєних параметрів (рис. 6.4).

Номінальний крок сітки в OrCAD – 2.54 мм

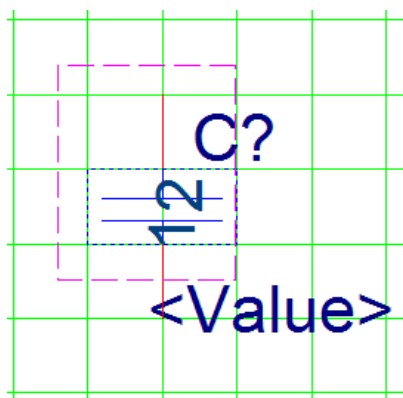


Рисунок 6.4 – Відображення в робочому полі редактора елементів нового елемента

Оскільки для створення принципів електричних схем нумерація виводів для двовиводних елементів є надлишковою, то вимикаємо її відображення через контекстне меню Options → Part Properties (рис. 6.5) і у вікні User properties обравши рядок Pin Names Visible встановлюємо значення FALSE (рис. 6.6).

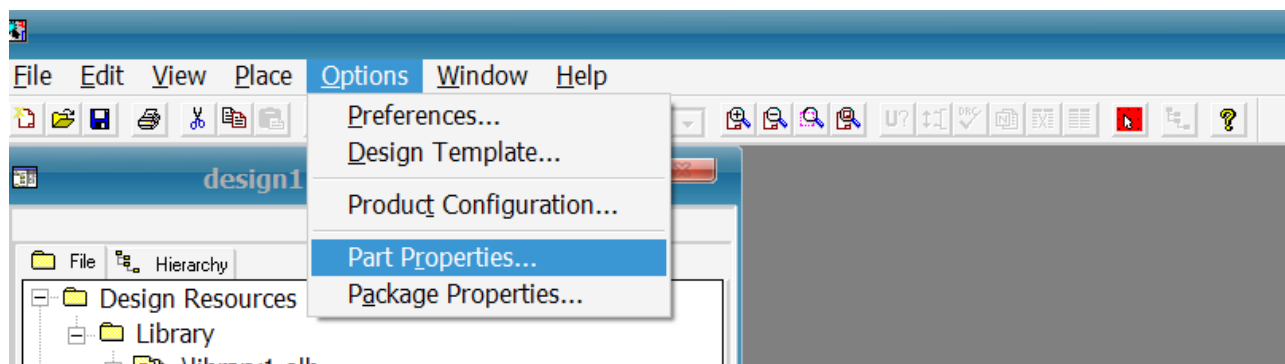


Рисунок 6.5 – До вибору контекстного меню властивостей елемента

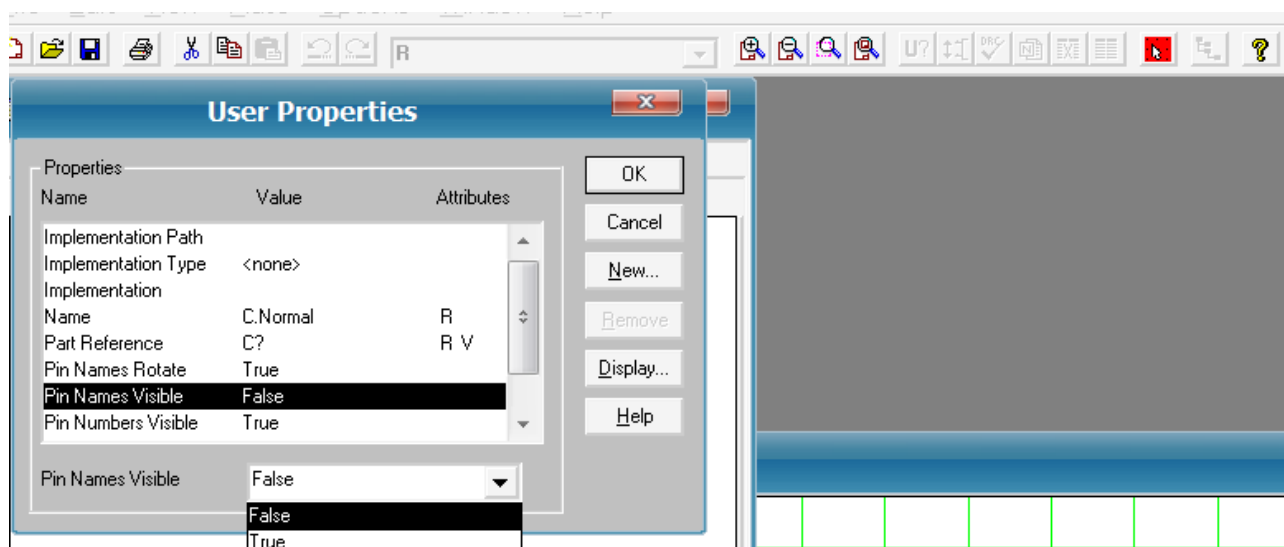


Рисунок 6.6 – До встановлення параметрів відображення властивостей елемента

Після виконаних операцій елемент набуває вигляду який представлено на рис. 6.7

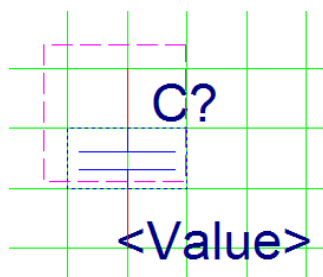


Рисунок 6.7 – Створений елемент (параметри відображення задані вірно)

Всі створені елементи мають бути поміщені у спільний файл для подальшого використання.

6.1.3 Створення та редагування елементів, що складаються з декількох частин

Розглянемо приклад створення УГП логічної мікросхеми КР1533ЛА3 (функціональний аналог SN7400), виконаної за технологією ТТЛ і яка містить у своєму складі чотири логічні елементи 2І-НІ, умовне графічне позначення якої наведено на рис. 6.8 [11].

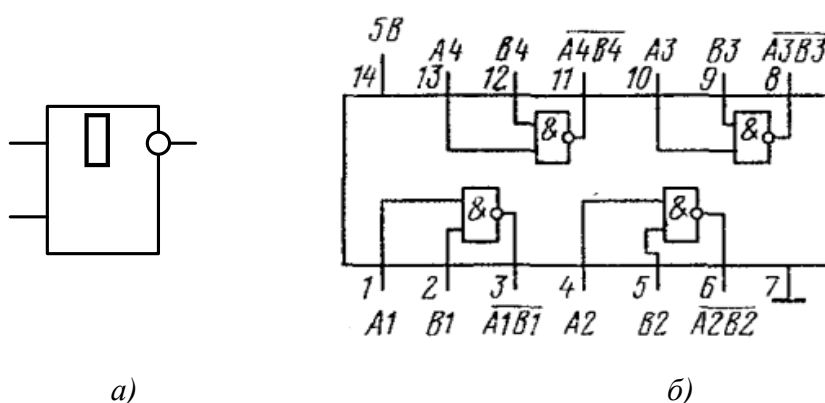


Рисунок 6.8 – Умовне графічне позначення логічного елемента 2І-НІ (а) і розташування виводів елементів в корпусі мікросхеми (б)

Для створення нової бібліотеки символів логічних елементів в меню **File** вибираємо пункт **New/Library** (рис. 6.9) і задаємо, наприклад, шлях H:\Konstr\Orcad-9.2\Capture\Library\NewLibrary\TTL.OLB, щоб в назви відображалось призначення бібліотеки. У новій бібліотеці будуть зберігатися цифрові мікросхеми, виконані за технологією ТТЛ.

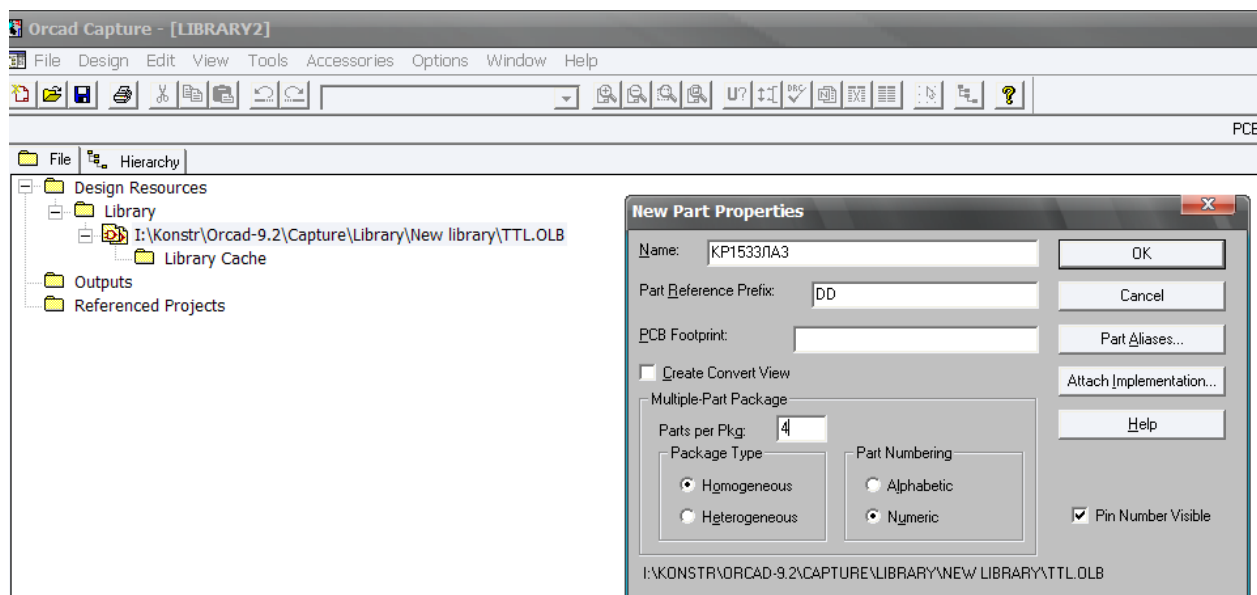


Рисунок 6.9 – Вікно із зазначенням назви та шляху до новоствореної бібліотеки та назви створюваного елемента

Після задання шляху та назви бібліотеки вибираємо пункт **New Part** в контекстному меню (рис. 6.2) і у вікні **New Part Properties** (рис. 6.9) вводимо ім'я елемента у вікно **Name**. Відповідно до ГОСТ цифрові логічні мікросхеми на принципових схемах позначаються як DD, а аналогові мікросхеми – DA.

У вікні **Part Preference Prefix** слід ввести буквене позначення елемента на принциповій схемі DD, а у вікні **Name** – KP1533ЛA3. Число елементів в корпусі (вікно **Parts per Pkg**) дорівнює 4 (рис. 6.8) і вибираємо функцію **Numeric** в **Part Numbering**.

У вікні необхідно створити зображення елемента, як показано на рис. 6.8,а. Відповідно до ГОСТ 2.743-91 [10] **інтегральні мікросхеми зображуються як прямокутник, а виводи розташовуються ліворуч і праворуч. Причому входи розташовуються тільки ліворуч, а виходи – праворуч. Відстань від краю УГП до першого виводу може бути встановлена 2,5 мм, а відстань між виводами дорівнює або кратна 5 мм. У зменшеному в 2 рази масштабі крок між виводами кратний 2,5 мм.**

За допомогою інструменту **Place rectangle** намалюємо прямокутник (рис. 6.10).

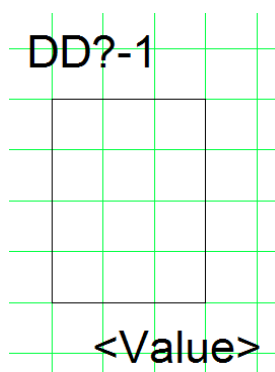


Рисунок 6.10 – Створення УГП логічного елемента 2I-НІ

Для розміщення виводів мікросхеми скористаємося інструментом **Place pin** і у вікні введемо ім'я першого виводу **In1**, номер виводу 1 (рис. 6.8,б), тип лінії виводу **Short** і тип виводу **Input** (рис. 6.11).

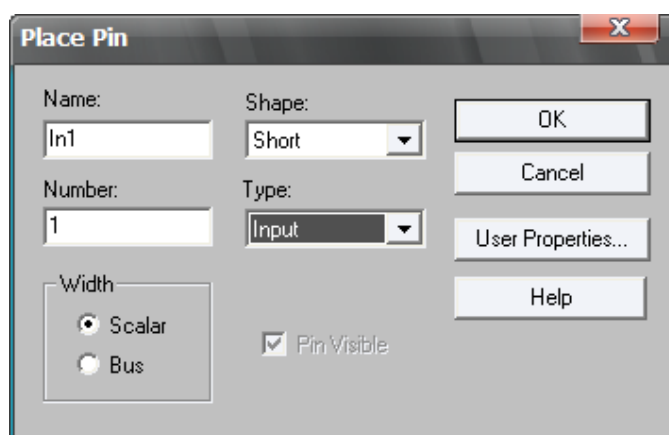


Рисунок 6.11 – Створення виводів логічного елемента 2I-НІ

Після натискання кнопки ОК до стрілки “миші” буде прикріплена коротка лінія, яку потрібно перемістити на ліву сторону прямокутника і зафіксувати на відстані 2,5 мм від верхнього краю, клацнувши лівою клавішею “миші”. До стрілки “миші” автоматично буде прив’язаний вивід **In2** з номером 2. Його необхідно зафіксувати на відстані 5 мм від першого виводу і на відстані 2,5 мм від нижнього краю УГП. Третій вивід **In3** з номером 3 розмістимо навпроти першого виводу з протилежного боку УГП (рис. 6.12).

Примітка:

* Надалі для простоти замість 2,54 мм будемо вказувати число 2,5 мм.

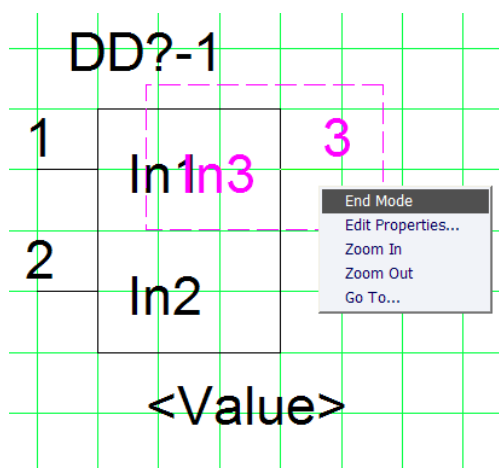


Рисунок 6.12 – Розстановка виводів логічного елемента 2I-НІ

Тепер потрібно відредагувати вивід **In3**, перетворивши його на вихід **Out6**. Для цього досить клацнути двічі лівою клавішею “миші”, встановивши її стрілку на вивід 3. У вікні (рис. 6.13) необхідно ввести ім'я виводу **Out1**, тип лінії виведення **Dot** (інверсія) і тип виводу **Output**.

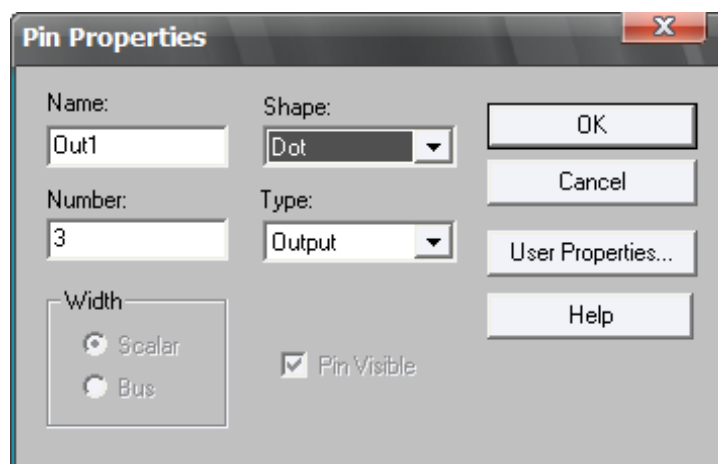


Рисунок 6.13 – Коригування назви та призначення виводу 3 логічного елемента 2I-НІ

Отримане зображення елемента вимагає редагування. У простих логічних елементах не прийнято писати назву виводів. Тому необхідно вибрати в меню Options пункт Part Properties і у вікні що відкриється відредагувати властивості елемента, встановивши ознаку False для назви виводів. Отримане зображення наведено на рис. 6.14.

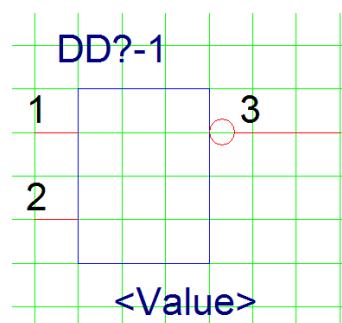


Рисунок 6.14 – Позначення логічного елемента 2І-НІ відповідно до вимог ЄСКД

Залишилося вписати в УГП позначення типу логічного елемента, для чого необхідно скористатися інструментом **Place Text** і розмістити букву & (І) всередині прямокутника УГП. Отримане зображення логічного елемента наведено на рис. 6.15.

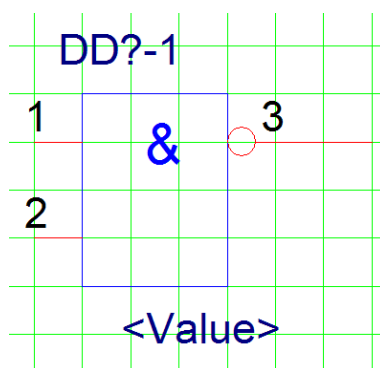
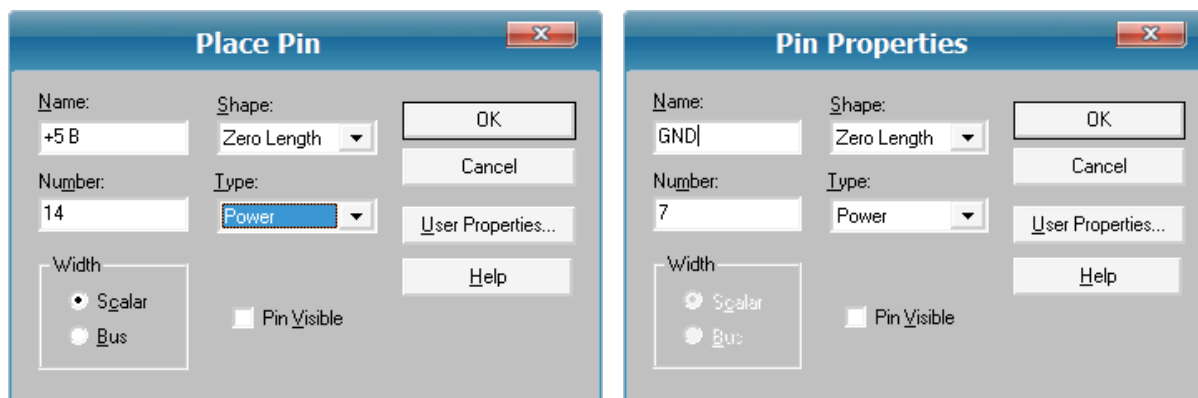


Рисунок 6.15 – Отримане зображення логічного елемента 2І-НІ

Тепер потрібно розмістити виводи живлення логічного елемента. **У цифровій техніці не прийнято показувати виводи живлення на принципових схемах, однак вони обов'язково повинні бути вказані для подальшої можливості розведення друкованої плати. Отже, виводи живлення та їх номери повинні бути невидимими. Для цього створюємо два виводи живлення: 14 вивід +5 В і 7 вивід – загальний провід (рис. 6.8).** Параметри, які необхідно ввести у вікно властивостей виводів показані на рис. 6.16.

Умовне графічне позначення логічного елемента отримає вигляд, показаний на рис. 6.17. Виводи живлення, як правило, розташовують зверху і знизу УГП, щоб не заважати інформаційним входам і виходам. Так як ці виводи невидимі, то це не суперечить вимогам ЄСКД.



a)

б)

Рисунок 6.16 – Введення параметрів виводу живлення (а) і загального проводу (б)

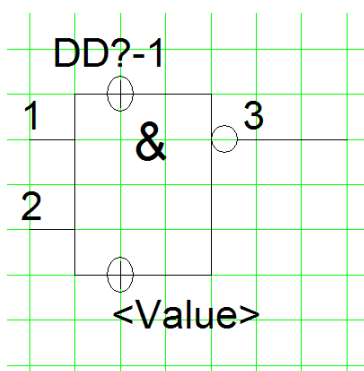
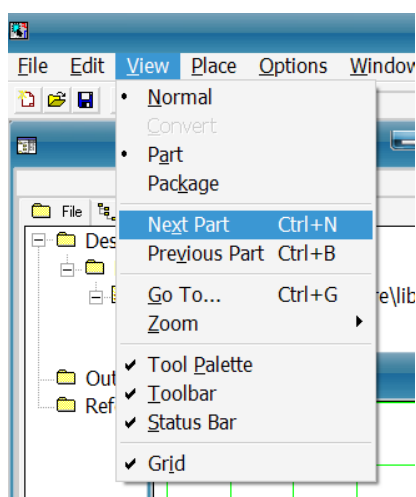
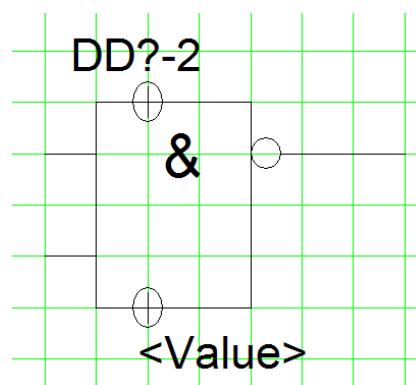


Рисунок 6.17 – Умовне графічне позначення логічного елемента з розміщеними на ньому виводами живлення

Після завершення редагування логічного елемента необхідно зберегти файл і потім відредагувати номери виводів інших трьох логічних елементів, які знаходяться в цьому ж корпусі мікросхеми (рис. 6.8). Для цього потрібно при відкритому вікні редагування елемента вибрати в меню **View** пункт **Next Part** (рис. 6.18,а) після чого у вікні редагування з'явиться зображення логічного елемента без номерів виводів з позиційним номером DD?-2 (рис. 6.18,б).



а)



б)

Рисунок 6.18 – Вибір режиму редагування наступних частин логічного елемента (а)
і вигляд іншого логічного елемента у вікні редагування (б)

Скориставшись даними із довідника (рис. 6.8) відредагуємо це зображення, встановивши номери виводів для всіх наступних частин мікросхеми (рис. 6.19).

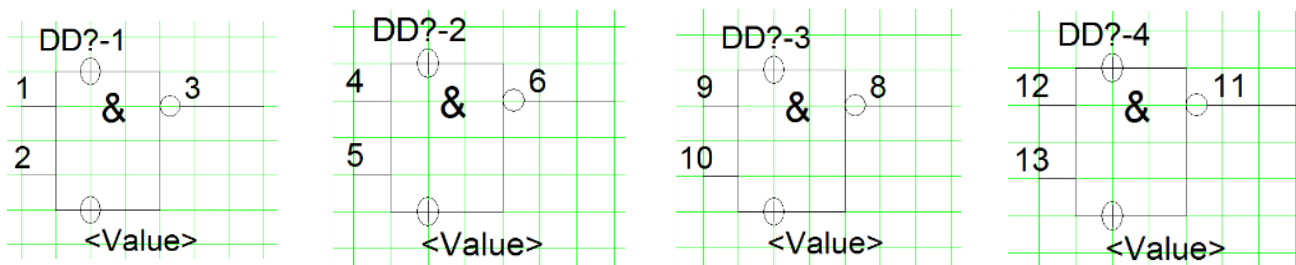


Рисунок 6.19 – Вид усіх чотирьох логічних елементів, що входять
до складу мікросхеми КР1533ІА3

Після завершення редагування необхідно зберегти отриманий результат.

6.2 Мета роботи


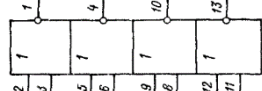
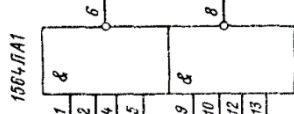
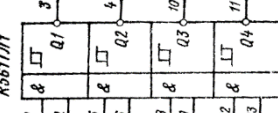
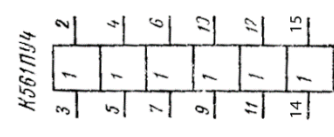
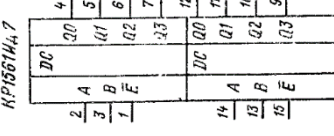
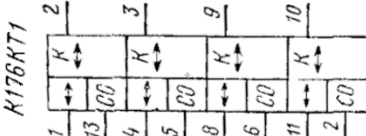
Ознайомитись з призначенням та інтерфейсом програми Orcad, з правилами роботи у редакторі бібліотек програми.

6.3 Завдання

Створити бібліотеку з двох компонентів у відповідності до ЄСКД, виконаних в масштабі 1:2 яка складається з одного пасивного компонента та однієї мікросхеми відповідно таблиці розподілу варіантів (табл. 6.2).

Номери виводів живлення треба з'ясувати самостійно. Для цього потрібно знайти на УГП мікросхеми вивід з найбільшим номером. Якщо цей номер не перевищує 13, то вивід живлення має номер 14, а вивід загального проводу – номер 7. Якщо найбільший номер виводу більший ніж 13 але не перевищує 15, то живлення підключається до виводу 16, а загальний провід – до виводу 8.

Таблиця 6.2 Завдання для розробки бібліотеки елементів

№	Елемент 1	Елемент 2
1	Котушка індуктивності, вид1 (прямі виводи)	
2	Перемикач на два положення	
3	Змінний резистор	
4	Резистор для підстроювання	
5	Конденсатор постійної ємності полярний	
6	Конденсатор змінної ємності	
7	Конденсатор що підстроюється	

№	Елемент 1	Елемент 2
8	Котушка індуктивності, вид 2 (виводи перпендикулярні до обмотки)	
9	Трансформатор з двома обмотками	

6.4 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з позначеннями елементів у відповідності з завданням.
2. Створити бібліотеку з двома заданими елементами відповідно завдання та оформити звіт про виконану роботу.
3. Зберегти створену бібліотеку у файлі, вказавши в назві файлу назву елементу та номер бригади (довільні назви не допускаються).
4. Оформити звіт, ілюструючи скрін-шотами етапів створення елементів, створених за допомогою програми FastStone Capture.
5. Представити бібліотеку в електронному вигляді.

6.5 Контрольні запитання

1. Що являють собою системи автоматичного проектування? Яке їх призначення та функціональні можливості?
2. Як впливає на побудову елементів масштабування документу. Як досягти бажаної точності побудови елементу?
3. Пояснити порядок побудови елементів для бібліотеки OrCAD. Чому варто дотримуватись порядку створення елементу?
4. Як створити координатну сітку заданої розмірності?
5. Як додати до УГП елемента додаткові виводи?
6. Що таке виводи (провідники) з параметром Zero_lenght. Пояснити навіщо вони потрібні.
7. Як вимкнути відображення надлишкових параметрів УГП елементу?
8. Як вибрати задані одиниці вимірювання робочого аркушу в OrCAD 9.2?
9. Що являють собою системи автоматичного проектування? Яке їх призначення та функціональні можливості?

10. Як вимкнути відображення надлишкових параметрів УГП елемента?
11. Як вибрати задані одиниці вимірювання робочого аркуша в OrCAD 9.2?

6.6 Оформлення звіту

Титульний лист: номер роботи варіант та ПІБ студента.

Тема, мета, завдання згідно варіанту.

Хід виконання роботи (покроковий опис, з поясненням вибраних опцій).

Рисунки УГП заданих елементів виконані в бібліотеці OrCAD (як результат роботи).

Висновки щодо можливостей та функціоналу САД-систем у проектуванні принципових електричних схем та електронних систем взагалі.

Посилання на використану літературу чи мережеві ресурси.

Література

1. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
2. Основні вимоги до оформлення атестаційних робіт, дипломних та курсових проектів: методичні рекомендації для студентів усіх форм навчання факультету електроніки / Укладачі: В.В. Макаренко, К.О. Трапезон, А.М. Чермянін. - К.: ФЕЛ НТУУ “КПІ”, 2006. – 112 с.
3. Графическое изображение электро-радиосхем: Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – К.: Техніка, 1987. – 120 с., ил.

Лабораторна робота №7

Створення та редагування принципових схем

7.1 Теоретичні відомості

7.1.1 Підготовка робочого листа і штампа

Для створення принципової схеми необхідно мати підготовлений за стандартом набір бібліотек елементів. Робота зі створення схеми починається з відкриття нового робочого листа. Для цього необхідно в меню **File** вибрати пункт **New** і вибрати **Design**. Відкрилося вікно показане на рис. 7.1.

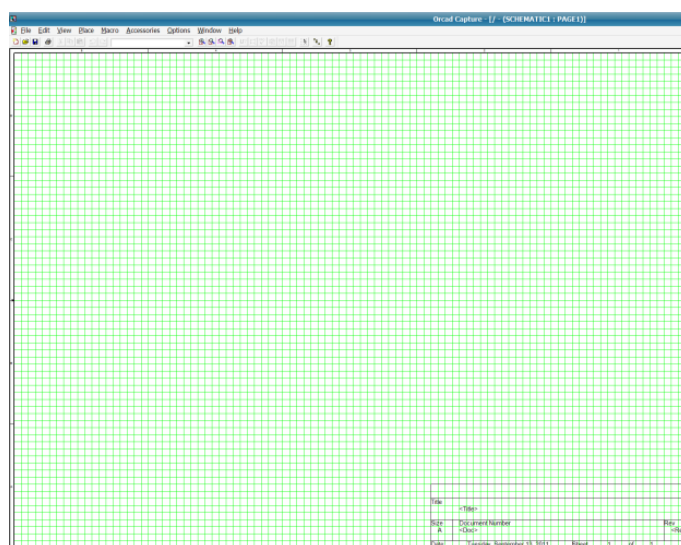


Рисунок 7.1 – Робочий лист нової принципової схеми

На аркуші розміщений штамп і рамка з координатами. Так як штамп не відповідає ЕСКД його потрібно видалити і замінити необхідним. Для видалення штампа достатньо в меню **Options/Design Templates/Grid Reference** зняти “пташки” у вікнах **Printed** і **Displayed** в рамках **Border Visible** і **Title Block Visible** (рис. 7.2).

8. Place ground – поставити значок “загального проводу”;
9. Place hierarchical block – розмістити ієрархічний блок;
10. Place port – розмістити контакт роз’єма;
11. Place of-page connector – розмістити символ для зв’язку з іншими листами схеми;
7. Place no connect – відсутність з’єднання.

Розміщення символів компонентів бібліотеки програми Capture містить в собі символи компонентів, джерел живлення і загального проводу. Вони розміщуються на схемі по команді меню **Place/Part** або натисканням на піктограму **Place Part** в меню інструментів. У діалоговому вікні цієї команди (рис. 7.8,а) при першому запуску відсутні будь-які компоненти. Щоб додати бібліотеки для використання в проєкті необхідно натиснути кнопку **Add Library** і у вікні **Browse File** (рис. 7.8,б) вибрати одну або декілька бібліотек, зміст яких відображається на панелі **Part** (для вибору одночасно декількох бібліотек натискається і утримується клавіша Ctrl).

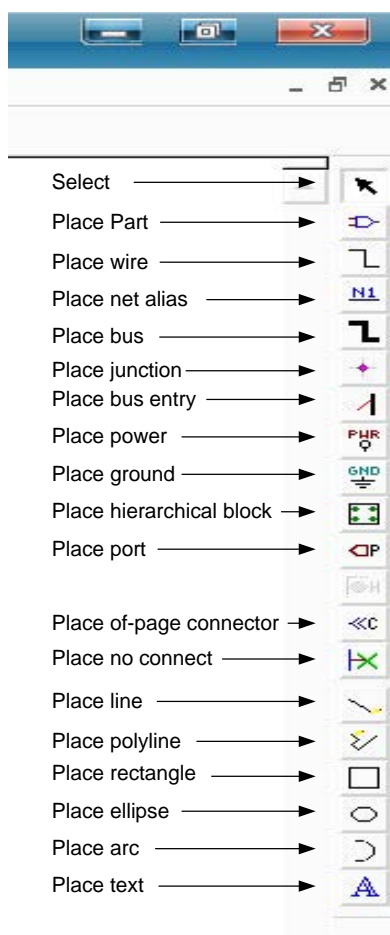
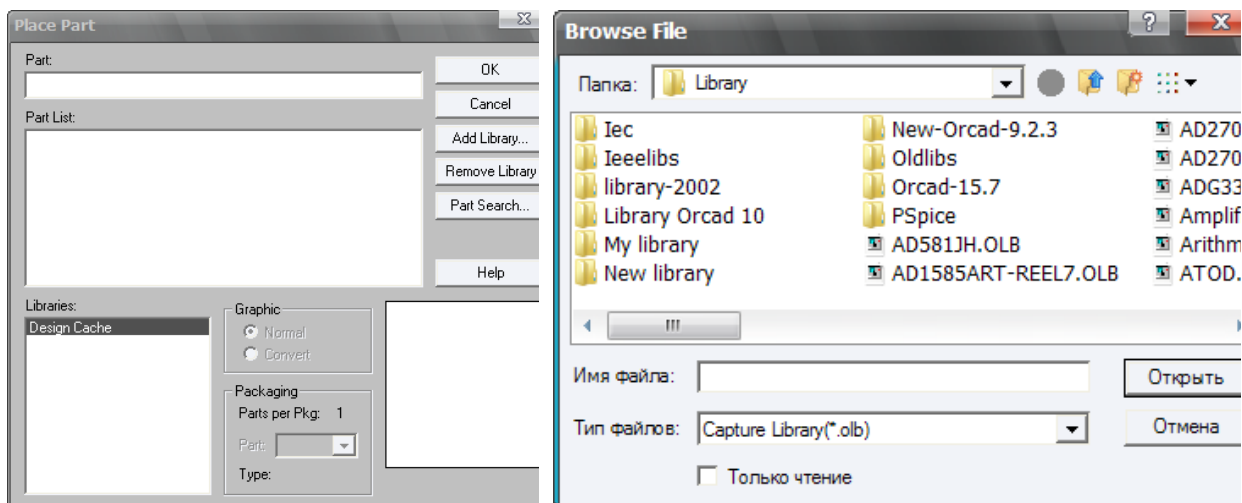


Рисунок 7.7 – Призначення інструментів схемного редактора Orcad Capture



а)

б)

Рисунок 7.8 – Вікно вибору елементів (а) і вікно вибору бібліотек (б)

Після вибору бібліотек у вікні **Place Part** з'явиться список компонентів обраної бібліотеки, а в правому нижньому куті – зображення обраного компонента (рис. 7.9).

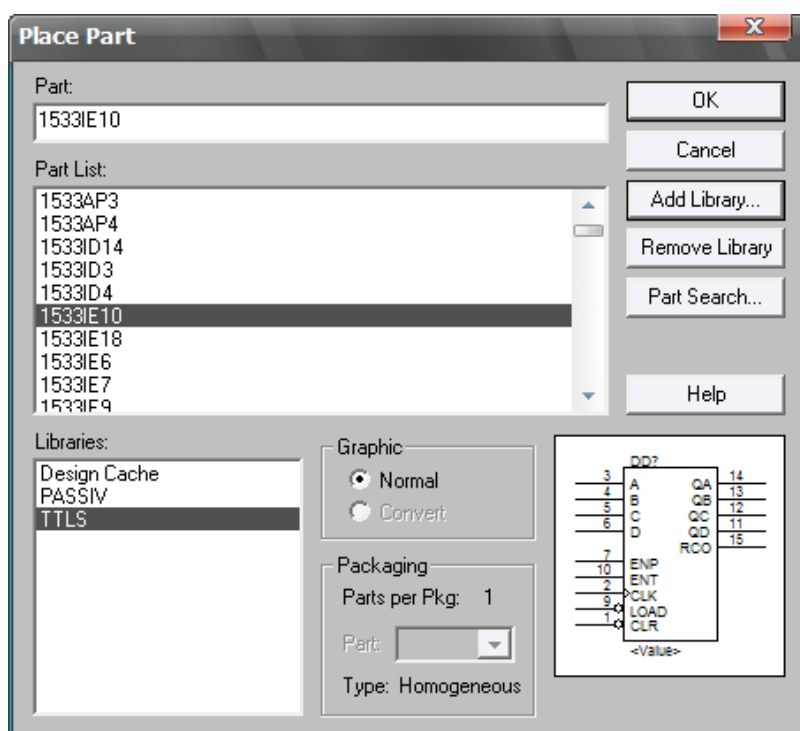


Рисунок 7.9 – Вибір компонента для розміщення на принциповій схемі

У розділі **Graphic** вибирається звичайне (Normal) або еквівалентне зображення логічних компонентів у стилі DeMorgan (Convert). У розділі **Packaging** вказується номер секції компонента, після чого в розташованому нижче вікні виводиться зображення обраної секції компонента із зазначенням номерів цоколювки його виводів (у рядку Parts per Pkg

вказується загальна кількість секцій компонента). Натисканням на кнопку **Add Library** відкривається діалогове вікно для додавання бібліотек в список Libraries, натискання на кнопку **Remove Library** видаляє обрану бібліотеку зі списку. Кнопка **Part Search** призначена для пошуку конкретного компонента в бібліотеках зі списку Libraries.

Після натискання на кнопку ОК або подвійного клацання “мишею” символ обраного компонента переноситься на лист схеми. Рухом курсору компонент переміщується в потрібне місце схеми і фіксується натисканням лівої кнопки миші. Після цього на схемі може бути розміщена ще одна копія цього ж символу. Натискання правої кнопки миші відкриває спливаюче контекстне меню (рис. 7.10), в якому дублюється виклик команд основного меню для обертання (Rotate), дзеркального відображення (Mirror), зміни масштабу зображення (Zoom), редагування параметрів компонента (Edit Properties) і ряд інших. Завершення розміщення на схемі символу обраного компонента проводиться після вибору в цьому меню команди **End Mode** або натисканням на клавішу **Esc**.

При розміщенні елементів на схемі їм автоматично присвоюються позиційні номери, які згодом можна відредагувати. Першому компоненту присвоюється перший номер, другому – другий і т.д.

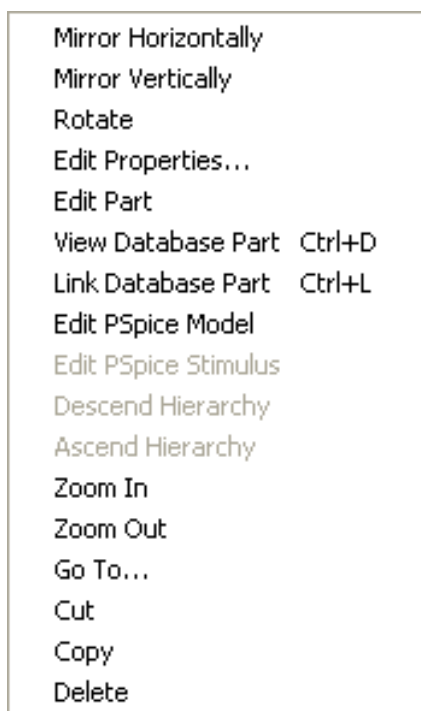


Рисунок 7.10 – Контекстне меню для зміни параметрів компонентів

Розглянемо приклад створення схеми, скориставшись рис. 7.11. Звичайно, щоб намалювати таку схему потрібно знати склад бібліотек компонентів. Але це відбувається в процесі роботи. Щоб легше орієнтуватися в якій з бібліотек знаходяться потрібні

компоненти, кожній з них привласнюють ім'я, відповідне її вмісту. Наприклад, TTTL.OLB – бібліотека компонентів ТТЛ, PASSIV.OLB – бібліотека пасивних компонентів.

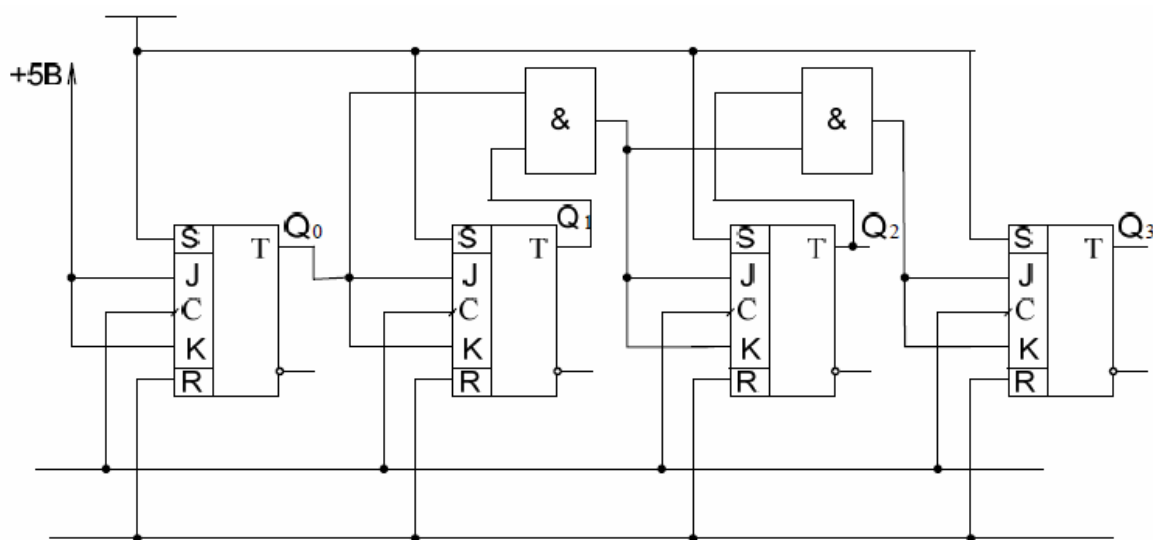
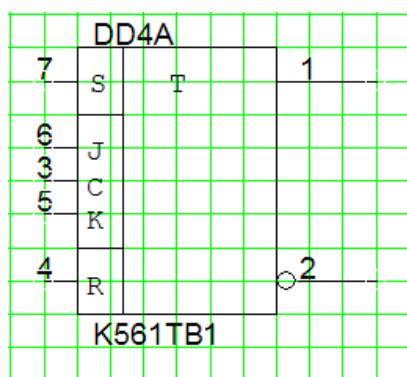
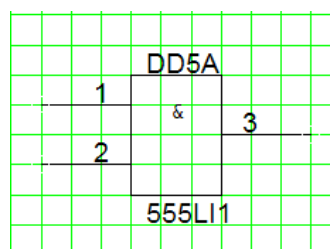


Рисунок 7.11 – Приклад схеми для створення принципової схеми в Orcad

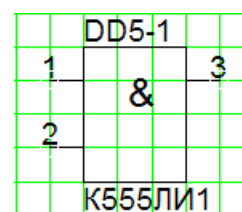
Елементи, які мають букву Т всередині відповідають мікросхемі K561TB1 (рис. 7.12,а) з бібліотеки CMOS.OLB (...\\Orcad-9.2\\Capture\\Library\\Mylibrary\\ CMOS.OLB). Другий елемент (логічний елемент 2І-НІ) відповідає компоненту 555LI1 з бібліотеки TTLS.OLB (рис. 7.12, б).



а)



б)



в)

Рисунок 7.12 – Зображення RSJK-тригера K561TB1 (а) і логічного елемента K555ЛІ1 до редагування (б) і після редагування (в)

Зображення та найменування логічного елемента потрібно трохи відредагувати: збільшити значок всередині УГП, перемістити вихід логічного елемента на одну клітинку вгору і написати його назву кирилицею.

Для редагування елементу можна викликати бібліотеку, в якій він знаходиться, і зробити потрібну корекцію. Тоді бібліотека буде містити виправлений символ. Другий

шлях полягає в редагуванні елемента, який знаходиться на аркуші схеми. Після редагування зміни будуть збережені тільки для цієї схеми. Тому при його використанні в інших схемах доведеться редагувати елемент знову. Для редагування елемента на аркуші потрібно виділити цей елемент, натиснути праву кнопку “миші” і контекстному меню вибрати пункт **Edit Part** (рис. 2.29). Після закінчення редагування елемента потрібно закрити вікно редагування і зберегти зміни, натиснувши на кнопку **Update Current** для збереження змін тільки в цьому компоненті або **Update All**, для зберігання та застосування змін до всіх подібних елементів, розташованих на аркуші принципової схеми (рис. 7.13).

Зображення відредагованого елемента наведено на рис. 2.31, в.

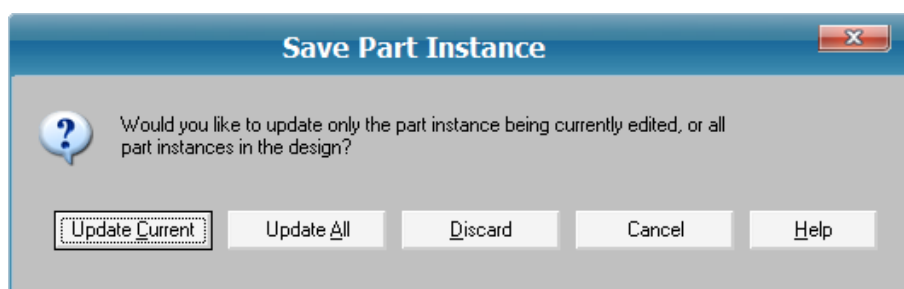


Рисунок 7.13 – Вікно збереження результатів редагування компонента

Розмістивши потрібні елементи на аркуші (рис. 7.14), можна приступити до їх з’єднання між собою.

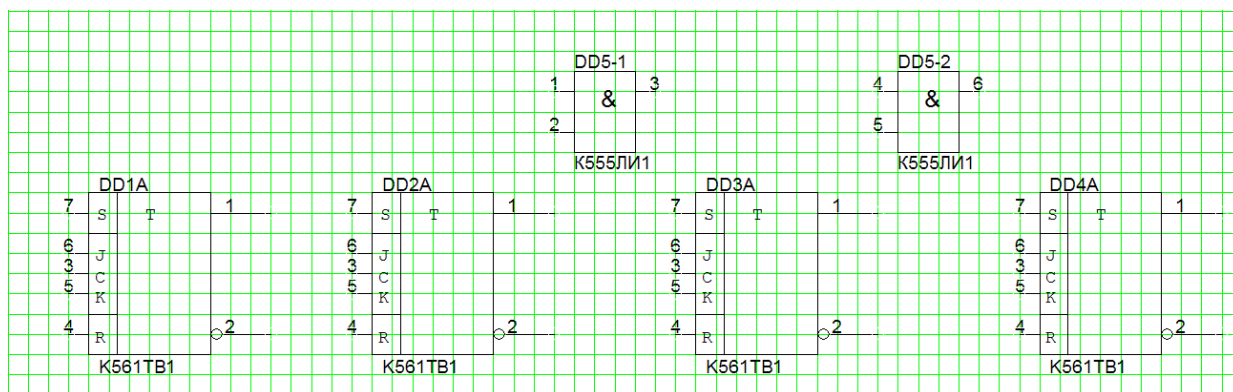


Рисунок 7.14 – Лист схеми з розміщеними на ньому компонентами

Для з’єднання використовується інструмент **Place wire**. Після натискання на піктограму інструменту курсор перетворюється в перехрестя, центр якого спочатку встановлюють на початкову точку лінії, а потім ведуть цю лінію до потрібного місця,

роблячи при необхідності вигини під кутом 90 градусів. Намальована схема показана на рис. 7.15.

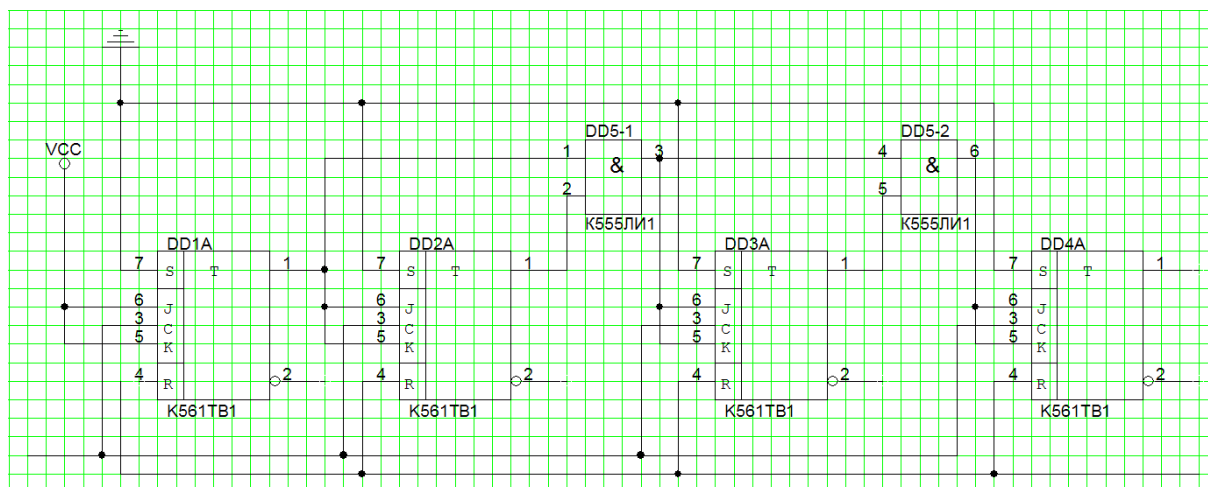


Рисунок 7.15 – Принципова схема пристрою

Символи загального проводу і напруги живлення знаходяться в бібліотеці **Capsym**. Швидкий доступ до них можливий при натисканні на піктограму **Pwr** (інструмент Place Power). Відповідно до ЕСКД прийнято позначати загальний провід однією лінією, довжиною 6...8 мм, а джерело живлення стрілкою із зазначенням напруги живлення, як показано на рис. 2.30. Значок загального проводу, використаний на рис. 7.15 використовують, коли на схемі необхідно розділити загальний провід аналогової частини схеми і загальний провід цифрової частини.

Відредагувавши елементи бібліотеки, можна сформувати потрібне зображення цих значків (рис. 7.16).

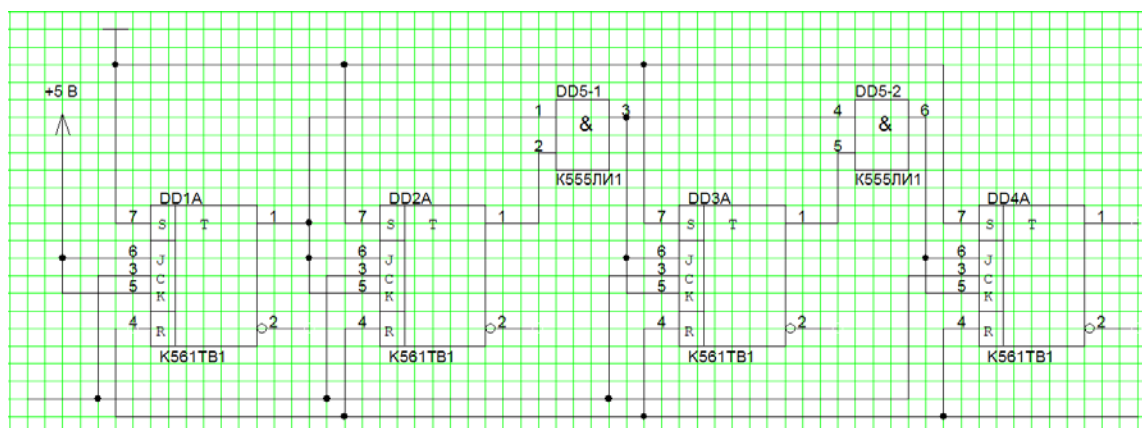


Рисунок 7.16 – Принципова схема пристрою з відредагованими значками загального проводу і джерела живлення

Після завершення редагування необхідно зберегти отриманий результат. Але отриманий на рис. 7.16 результат не є остаточним. На схемі відсутні роз'єми через які подаються вхідні сигнали і напруга живлення, а також примітки, у яких вказується до яких контактів мікросхем підключається напруга живлення і загальний провід. Схема буде вважатися завершеною коли всі необхідні елементи будуть на ній присутні.

7.1.3 Загальні правила виконання електричних принципових схем

На електричній принциповій схемі зображують усі електричні та електронні елементи, які необхідні для здійснення та контролю у пристрої заданих електричних процесів, всі електричні зв'язки між ними, а також елементи (роз'єми, затиски), якими закінчуються вхідні та вихідні кола.

На схемі не дозволяється зображувати з'єднувальні та монтажні елементи, що встановлені в пристрій за конструктивними міркуваннями.

Елементи на схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень.

У схемах, що насичені умовними графічними позначеннями, дозволяється усі позначення пропорційно зменшувати, при цьому відстань (просвіт) між двома сусідніми лініями умовного графічного позначення повинна бути не менше ніж 0.8 мм (0.75 мм при використанні графічних редакторів САПР). Якщо схеми виконуються на великих форматах дозволяється усі графічні позначення пропорційно збільшувати.

Розміри умовних позначень окремих елементів можна збільшувати, якщо потрібно підкреслити особливе значення цих елементів або необхідно внести до них пояснювальні знаки.

Умовні графічні позначення, які використовують як складові частини більш складних елементів, дозволено зображувати зменшеними у порівнянні з іншими елементами з метою скорочення загальних розмірів умовних графічних позначень (наприклад, резистор в рамковій антені).

При зображенні елементів з великою кількістю виводів дозволяється змінювати розміри їх позначень у порівнянні з наведеними в стандартах, за умовою збереження ясності схеми.

Умовні графічні позначення креслять на схемі лініями такої ж товщини, як це зображено у стандартах на умовні графічні позначення (рекомендована товщина 0.25...0.4 мм) [8]. При виконанні креслень на листах формату A1 або A0 рекомендується вибирати товщину лінії 0.5...1 мм.

Товщину ліній усіх умовних графічних позначень елементів дозволяється виконувати рівною товщині лінії електричного зв'язку.

Елементи, що використовуються в схемі частково, дозволяється зображувати на схемі не повністю, обмежуючись лише частинами, що використовуються [7]. Наприклад, можна зобразити не всі інвертори з шести, що входять до логічної мікросхеми, а тільки потрібну кількість для виконання конкретних функцій.

Умовні графічні позначення креслять на схемі або в положенні, в якому вони позначені у відповідних стандартах, або повернутими на кут, що кратний 90° по відношенню до цього положення, за умови, що у відповідних стандартах відсутні спеціальні рекомендації. В окремих випадках дозволяється умовні графічні позначення повертати на кут, що кратний 45° . Умовні графічні позначення мікросхем дозволено повертати на кут 90° за або проти часової стрілки. Поворот на 180° по відношенню до позначених у стандартах (входи інтегральних схем необхідно розміщувати зліва, а виходи – справа) **заборонено**.

Умовні графічні позначення на схемах виконують суміщеним або рознесеним способами (рис. 7.17).

У випадку суміщеного способу складові частини елементів зображують на схемі сумісно, тобто у одному контурі поділеному на частини.

При рознесеному способі умовні графічні позначення складових частин елементів можна розташовувати в різних місцях схеми, таким чином, щоб окремі кола пристрою були зображені найбільш наочно, а зв'язки між елементами схеми були найкоротші. Рознесеним способом дозволяється креслити як усю схему, так і окремі елементи.

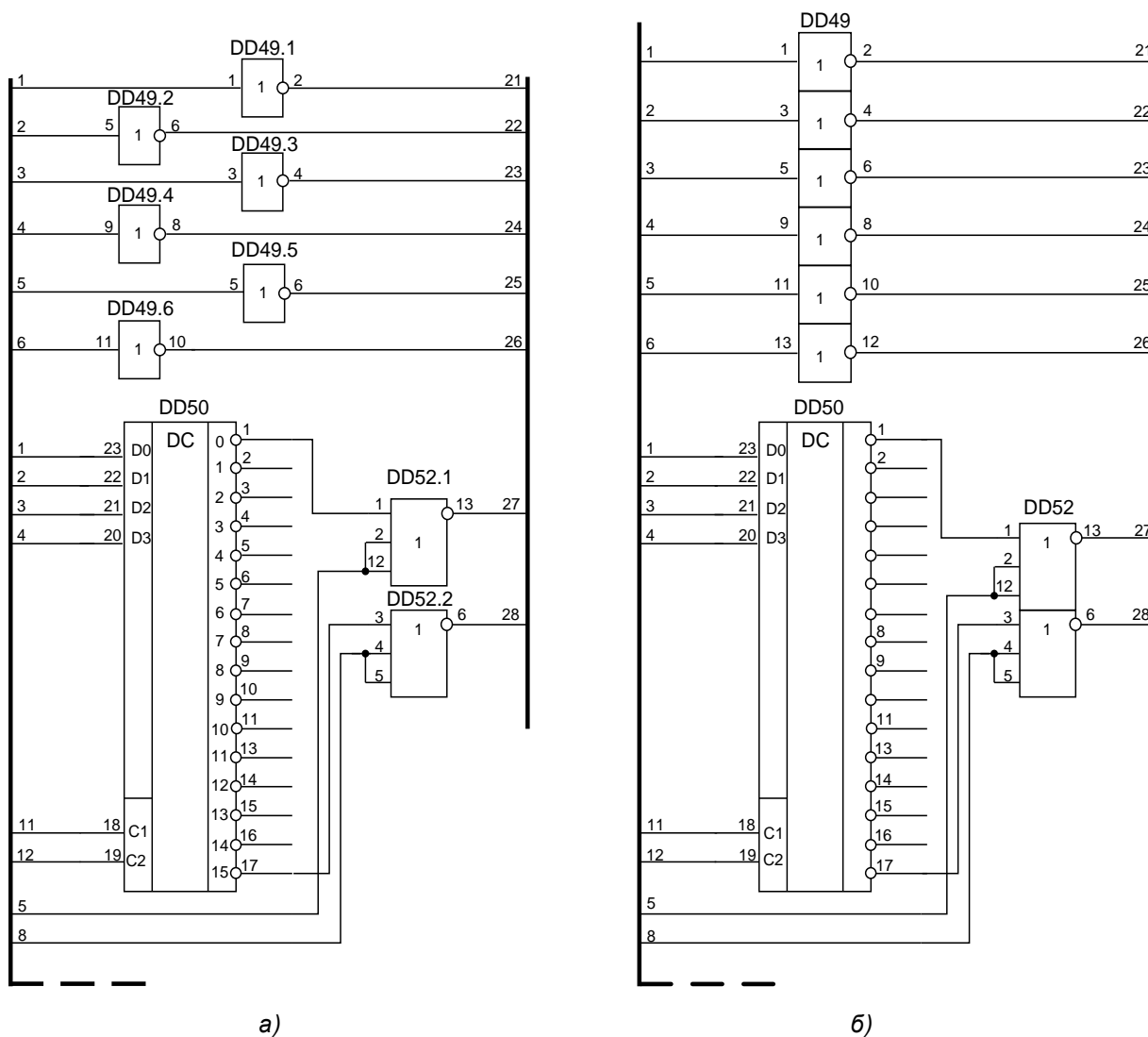


Рисунок 7.17 – Приклад виконання схем рознесеним (а) та суміщеним (б) способами

У випадку креслення схем електротехнічного та електронного обладнання рекомендується користуватися рознесеним способом і умовні графічні позначення елементів та їх складових частин, що входять в одне коло, зображувати послідовно один за одним по прямій, а окремі кола – одне під одним, створюючи паралельні або вертикальні рядки (рядковий спосіб виконання схеми).

Фрагмент схеми, що показаний на рис. 7.17.а виконано рознесеним способом – елементи DD49.1...DD49.6, DD52.1...DD52.2, а на рис. 7.17.б – суміщеним.

Якщо схема виконується рядковим способом, то дозволяється нумерувати паралельні рядки.

Якщо елементи зображенні рознесеним способом, то на вільному полі схеми можна розміщувати таблиці з умовними графічними позначеннями елементів, що виконані суміщеним способом. Елементи, які використовуються у пристрої частково, у таблиці, як

правило, зображують повністю з зазначенням частин, що використовуються та не використовуються.

Схеми виконують в однолінійному та багатолінійному зображенні.

У випадку застосування багатолінійного способу кожне коло, у тому числі й кола, що виконують ідентичні функції (наприклад, фази кіл змінного струму), зображують окремою лінією, а елементи, що знаходяться у вказаних колах – окремими умовними графічними позначеннями.

При використанні однолінійного способу усі кола, що виконують ідентичні функції, зображують однією лінією, а аналогічні елементи, що розташовані у вказаних колах, – одним умовним графічним позначенням.

Розташування умовних графічних позначень елементів на схемі повинно визначатися зручністю читання схеми, а також необхідністю зображення зв'язків між елементами найкоротшими лініями за мінімальної кількості перетинів [7].

Допустимо розташовувати умовні графічні позначення елементів на схемі таким чином, як вони розташовані в пристрої, якщо зображення зв'язків між елементами не буде впливати на зручність читання схеми.

У випадку великого формату та великої насиченості схеми допускається розбивати поле схеми на рівні зони (з метою полегшення знаходження елементів). Позначення зон повинні бути вказані у переліку елементів.

Лінії зв'язку повинні бути показані, як правило, повністю. Можна розривати лінії зв'язку віддалених друг від друга елементів, якщо графічне зображення зв'язків не погіршує читання схеми.

За наявності в пристрої декількох допоміжних кіл, що повторюються (наприклад, кола живлення), дозволяється на схемі їх не зображувати, а розміщувати на полі схеми таблиці з позначенням місць підключення або відповідні текстові пояснення (рис. 7.18).

Якщо ряд елементів повинен бути підключений до кіл однакової полярності однакового потенціалу, то в цьому випадку можна, не проводячи лінії зв'язку, вказувати підключення цих елементів, проставляючи полярність та за необхідності величину потенціалу біля зображення виводів цих елементів.

Лінії електричного зв'язку на схемах повинні бути виконані товщиною від 0,2 до 0,8 мм в залежності від формату схеми та розмірів графічних позначень.

Рекомендована товщина лінії електричного зв'язку – 0.25...0.4 мм.

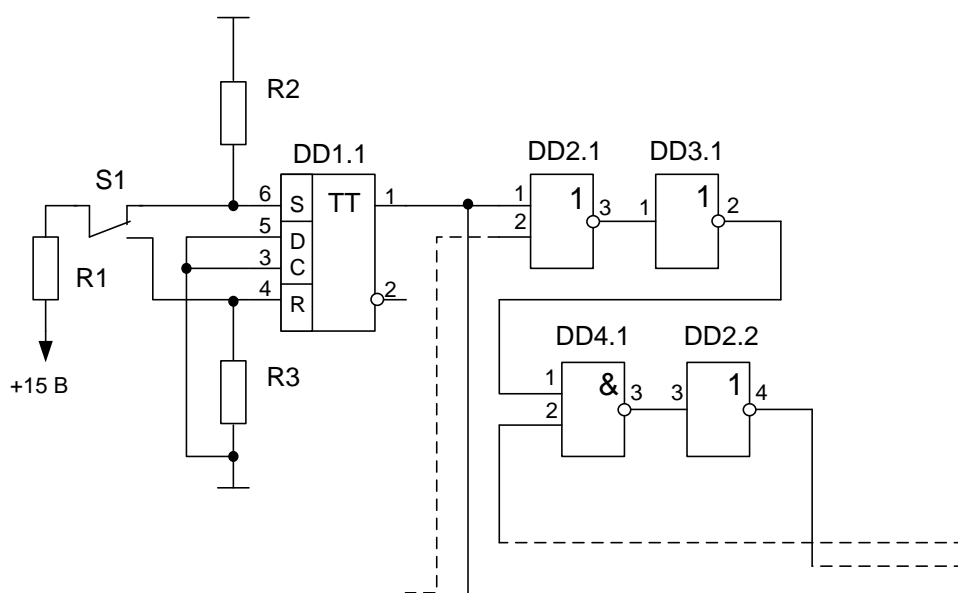
Якщо на одній схемі наведені різні функціональні кола, можна виконувати їх лініями різної товщини, щоб вони краще розрізнялися. За рекомендаціями [7] слід розрізняти кола

первинної та вторинної комутації, силові кола та кола керування і т. п. Якщо це необхідно на полі схеми допускається давати відповідні пояснення.

Для виділення функціональних кіл дозволено використовувати лінії товщиною до 1.3 мм.

Елементи, що входять до кола, яке виділене товщиною лінії, рекомендується креслити лініями тієї ж товщини, що і коло.

Для спрощення схеми можна декілька електрично не зв'язаних між собою ліній зв'язку об'єднувати у загальну лінію (шину), але при підході до контактів елементів схеми кожна лінія зв'язку повинна бути зображена окремою лінією.



Примітка:

Виводи 14 мікросхем DD1...DD4 підключити до шини „+15 В”.

Виводи 07 мікросхем DD1...DD4 підключити до шини „загальний”.

Рисунок 7.18 – Приклад текстових пояснень щодо підключення кіл живлення до елементів схеми

При використанні в схемі об'єднання ліній зв'язку у шину, ці лінії повинні бути **пронумеровані однаковими числами чи умовними кодами** на обох кінцях (рис. 2.5).

Лінії зв'язку можна підключати до шини (об'єднувати у шину) **під кутом 45 градусів** (як показано на рис. 7.19) **або під прямим кутом** (рис. 7.17). Якщо для виконання схеми використовують САПР, то лінії об'єднувати у шину слід під кутом 45 градусів (це правило закладене в схемотехнічних редакторах САПР).

Якщо до шини підключено тільки один елемент, можна інший кінець лінії, що об'єднується з шиною, не нумерувати, використовуючи для цього позначення контактів

елементів, до яких підходять ці лінії.

Примітка.

Якщо на схемі наведені цифрові позначення електричних кіл, то при злитті ліній додаткова нумерація не потрібна.

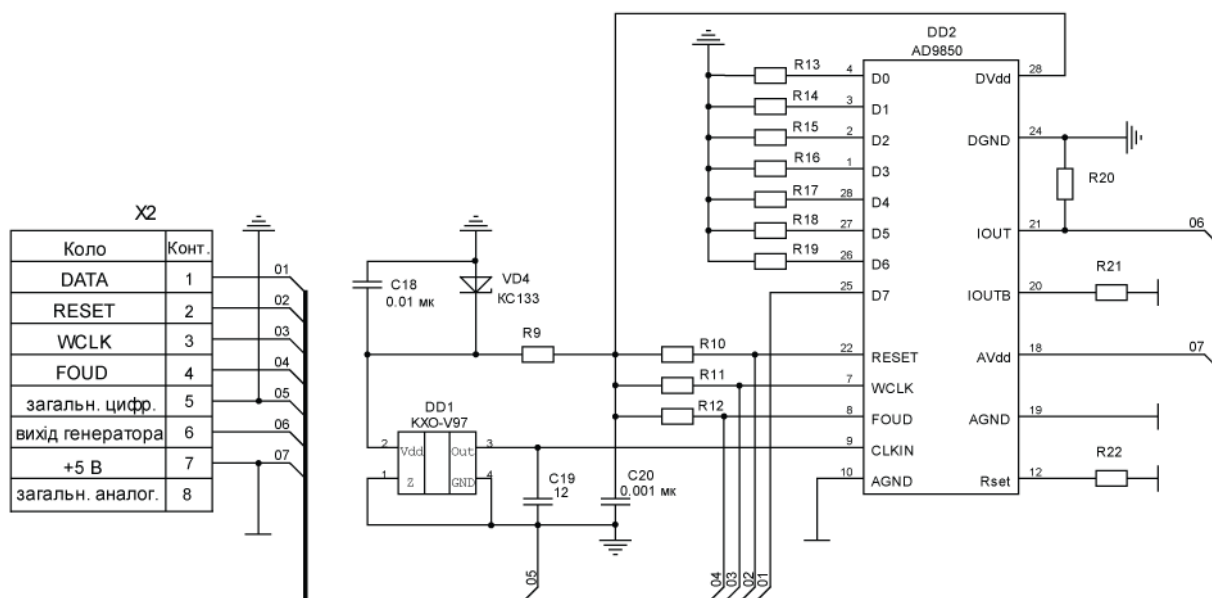


Рисунок 7.19 – Приклад виконання лінії зв'язку з використанням шини

Кожний елемент, що входить в пристрій та зображений на схемі, повинен мати буквено-цифрове позначення, яке утворюють з буквеного позначення і порядкового номера, що ставиться після буквеного позначення.

Буквене позначення повинно уявляти собою скорочене найменування елементу, що складається з його початкових чи характерних літер, наприклад: трансформатор – TV чи ТА, розрядник – FV.

Порядкові номери елементам слід присвоювати, починаючи з одиниці, в межах групи елементів, яким на схемі присвоєне однакове буквене позначення, наприклад: C1, C2, C3 і т. д.

Цифри порядкових номерів елементів та їх буквені позначення слід виконувати однаковим розміром шрифту.

Якщо в умовне графічне позначення входить буквене позначення (вимірювальні прилади, електричні машини), то дозволяється до нього додавати порядковий номер.

Якщо в пристрої є тільки один елемент даної групи (один генератор и т. п.) і до того ж відомо, що при внесенні змін до схеми поява іншого елементу тієї ж групи неможлива, то порядковий номер в його позиційному позначенні можна не вказувати.

Позиційні позначення розміщують на схемі поряд з умовними графічними позначеннями елементів по можливості з правого боку чи над ними.

Порядкові номери повинні бути присвоєні у відповідності до розташування елементів на схемі, здійснюючи при цьому нумерацію, як правило, зверху донизу в напрямку зліва направо.

При необхідності можна змінювати послідовність присвоєння порядкових номерів, що обумовлене розміщенням елементів у пристрої, напрямком проходження сигналів або функціональною послідовністю процесу.

У випадку виконання умовного графічного позначення елемента рознесеним способом позиційне позначення, яке присвоєне елементу, розміщують біля кожної його складової частини. Послідовність присвоєння порядкових номерів повинна відповідати послідовності розташування на схемі основних складових частин елемента.

Дозволяється до позиційного позначення через дефіс додавати цифри, що присвоюються кожній частині елемента, наприклад, Д1-2 – друга плата перемикача 1.

Окремі контакти роз'ємів, плат і т. п. позначають дробом, в чисельнику якого розміщують позиційне позначення елемента, а у знаменнику – номер контакту, наприклад, Х1/5. Позначення розміщують біля зображення контакту.

На схемі, в склад якої входять пристрої, що не мають самостійних принципових схем, дозволяється елементам присвоювати позиційні позначення в межах кожного пристрою.

Зазначений метод є обов'язковим у випадках, коли в склад схеми, входить декілька однакових пристроїв.

На схемі пристрою, в склад якого входить декілька однакових функціональних груп, елементам рекомендовано привласнювати позиційні позначення в межах кожної групи.

У випадку суміщеного способу зображення функціональної групи на схемі усередині контуру вказують умовний шифр групи.

При рознесеному способі зображення функціональної групи умовний шифр групи повинен бути включений у склад позиційного позначення кожного елемента. Наприклад, 1-С5 – п'ятий конденсатор, що входить до тригера 1.

На схемі у позиційних позначеннях вхідних та вихідних елементів (роз'ємів, плат і т. п.) зліва від їх позиційних позначень можна вказувати через дефіс умовний шифр пристрою, в який входять дані елементи, наприклад: А-Х5 – п'ятий штепсельний роз'єм пристрою А.

З метою забезпечення зв'язку схеми з конструкцією допускається на схемі вводити цифрові позначення електричних кіл. В цьому випадку дозволяється застосовувати буквені

індекси, що характеризують функціональне призначення кіл.

На принциповій схемі повинні бути однозначно визначені всі елементи, які входять до складу пристрою та зображені на схемі. Як правило, дані про елементи повинні бути наведені у переліку елементів. При цьому зв'язок між переліком та умовними графічними позначеннями елементів повинен здійснюватися крізь позиційні позначення. **В окремих випадках всі відомості про елементи можна розміщувати біля умовних графічних позначень.**

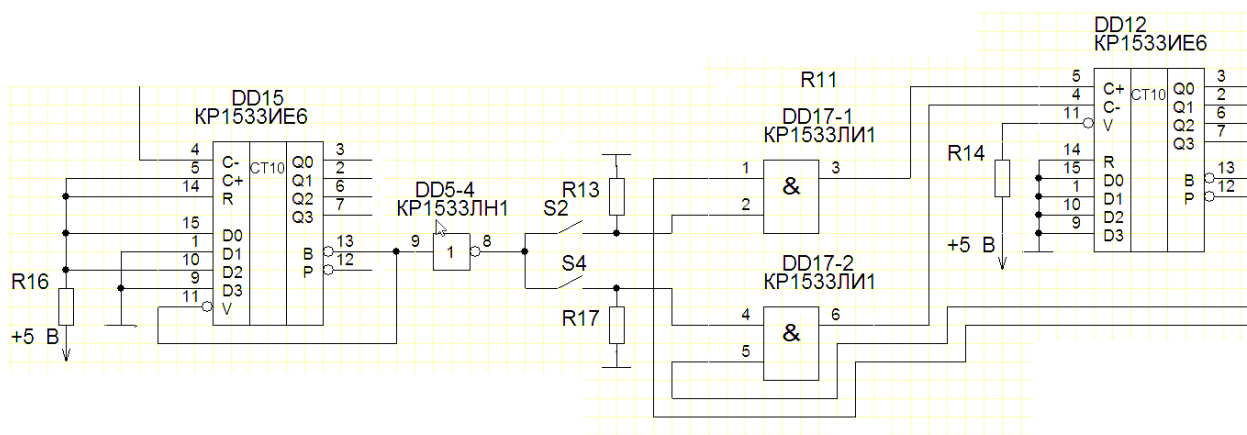
7.2 Мета роботи

Ознайомитись з правилами виконання принципових схем та їх оформленням у програмі Orcad.

7.3 Завдання

Створити принципову схему у відповідності з завданням. Доповнити схеми роз'ємами для підключення вхідного і вихідного сигналу, джерел живлення, елементів розв'язки по колах живлення. Для виконання схеми скористуйтесь шаблоном файлу ШТАМП А3 та бібліотеками елементів, що знаходяться у папці My library. Елементи що відсутні у бібліотеках (чи Ви їх не знайшли) треба розробити самостійно.

Варіанти фрагментів схем для кожної бригади наведені нижче.



Варіант 1

Розглянемо на прикладі схеми для першого варіанту що треба зробити. Під'єднати до контактів роз'єма (на схемі відсутній, треба створити самому):

- вхід лічильника DD15;
- всі виходи лічильника DD12;

- входи логічних елементів DD17 які не підєднані до елементів схеми;
- напугу живлення +5 В;
- загальний провід.

Зробити на схемі свою нумерацію позиційних номерів.

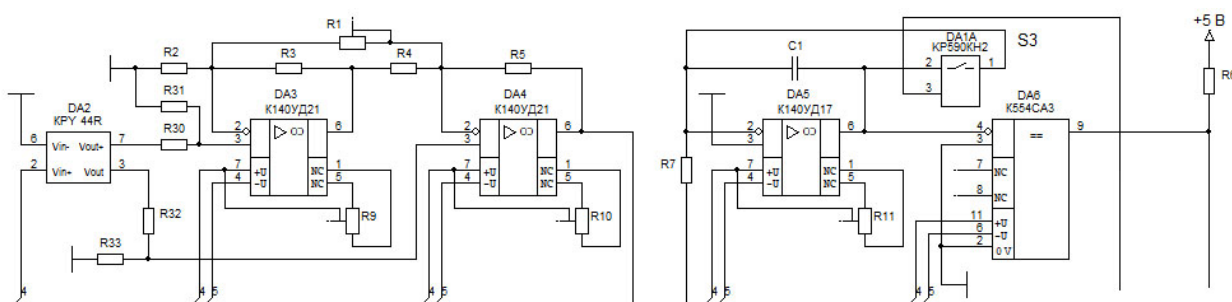
Додати примітки.

Заповнити штамп. Там де Схема електрична принципова написати назву схеми –

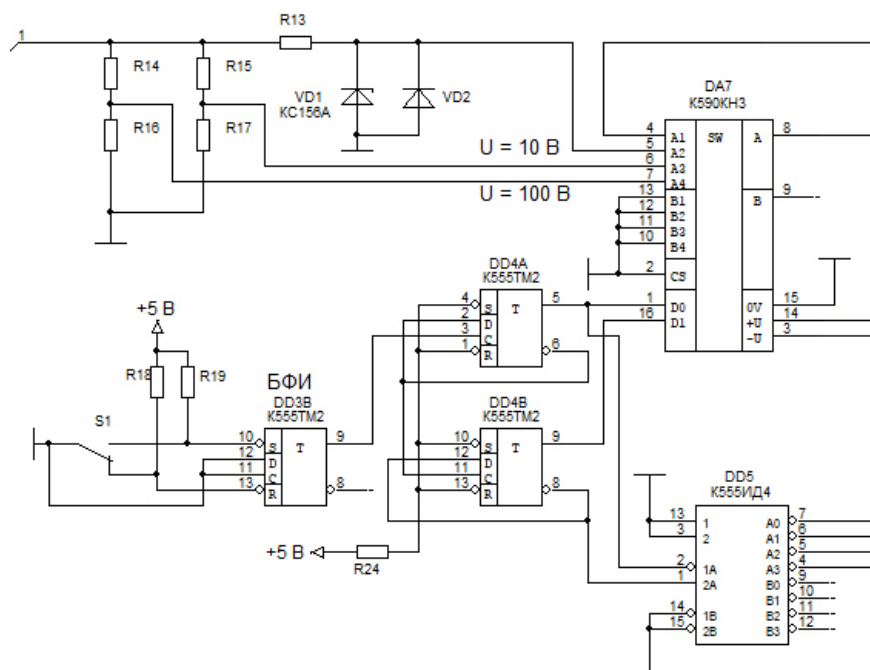
Варіант 1.

Зберегти файл.

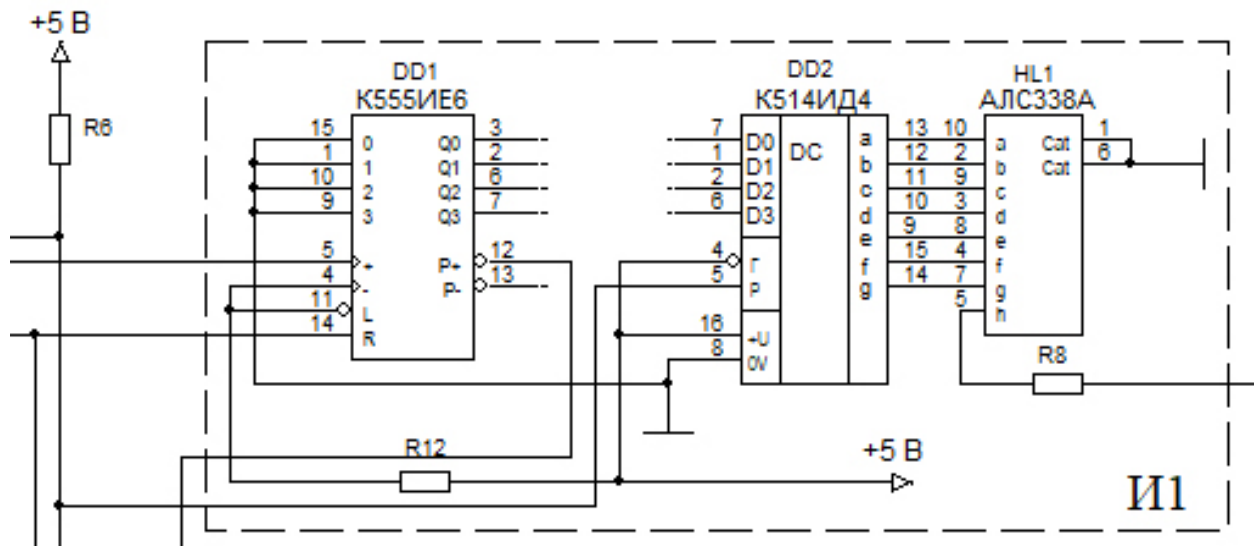
Для інших варіантів провести аналіз чого не вистачає самостійно.



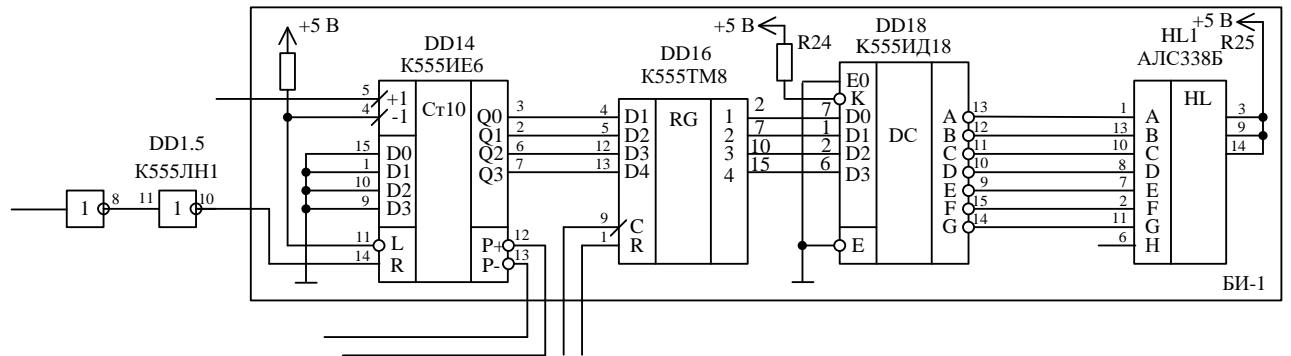
Варіант 2



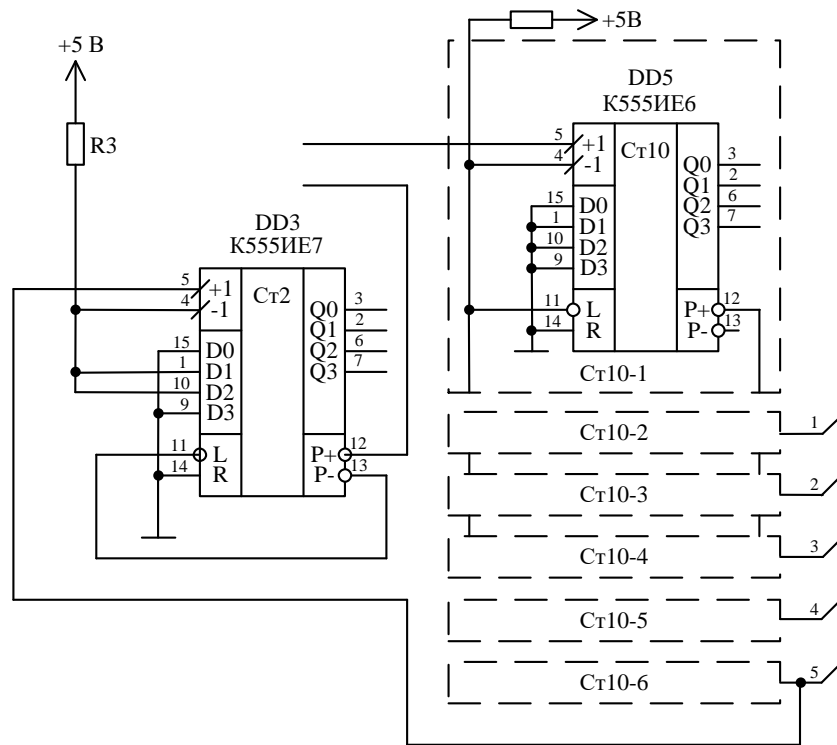
Варіант 3



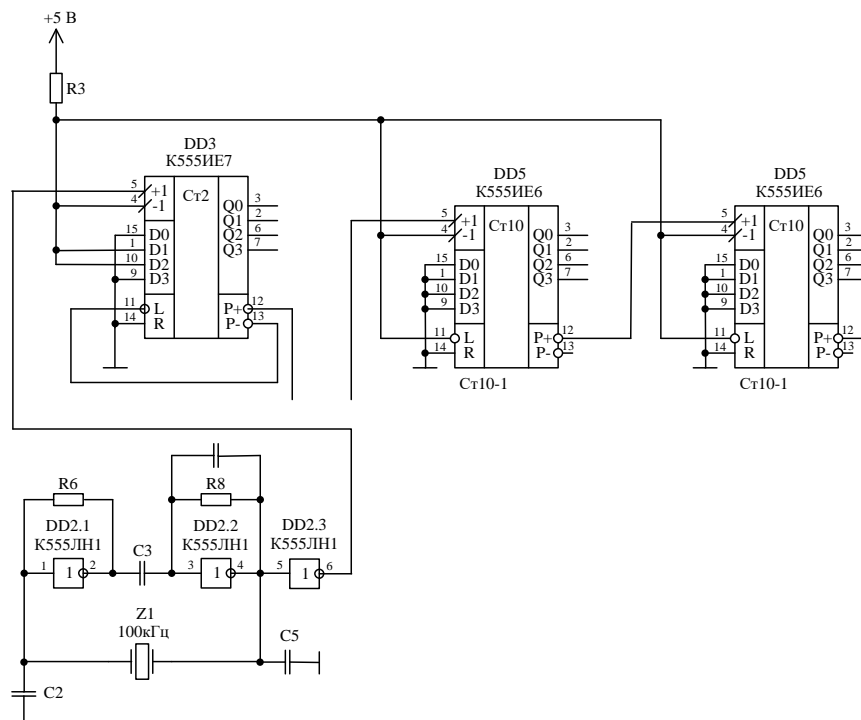
Варіант 4



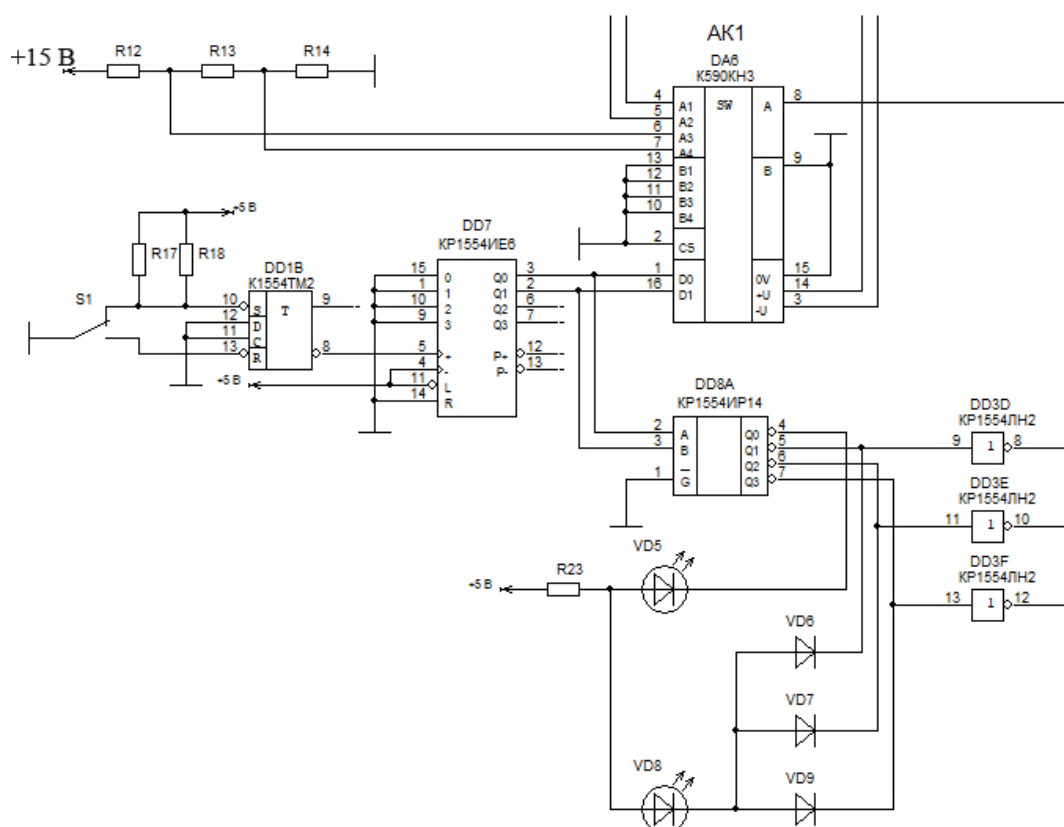
Варіант 5



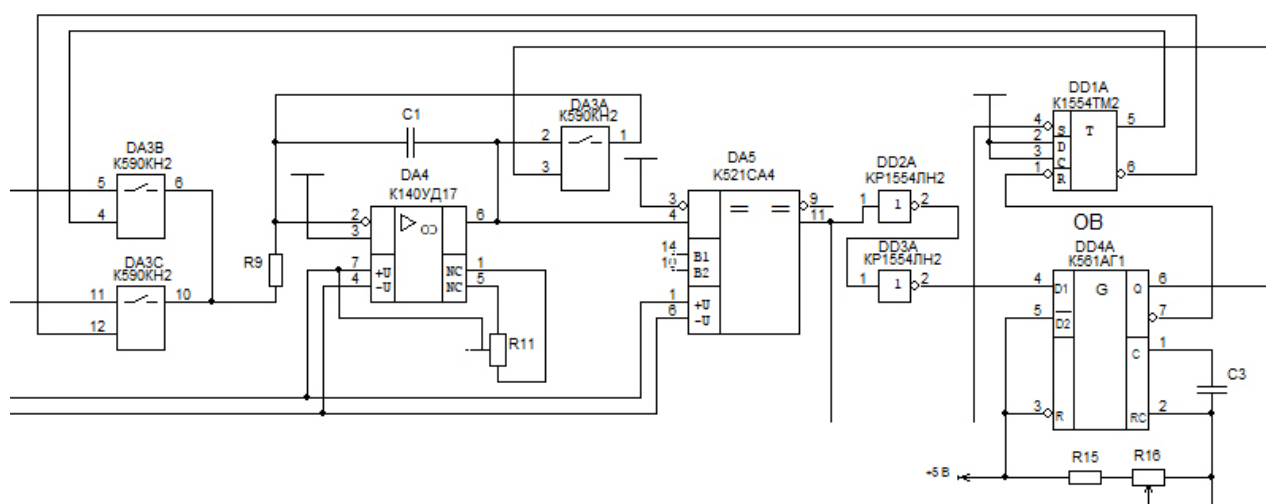
Варіант 6



Варіант 7



Вариант 8



Вариант 9

7.4 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з правилами оформлення принципів схем.
2. Використовуючи рисунок схеми розробити принципову схему за правилами ЄСКД.

3. Зберегти створену схему у файлі, вказавши в назві файлу номер бригади (довільні назви не допускаються) і назву. Наприклад, Принципова_бригада_5.dsn

4. Оформити звіт, ілюструючи скрін-шотами етапів створення схеми та редагування позначення елементів за допомогою програми FastStone Capture.

5. Представити схему в електронному вигляді.

7.5 Контрольні запитання

1. Що являють собою системи автоматичного проектування? Яке їх призначення та функціональні можливості?
2. Як здійснюється нумерація елементів на схемі?
3. Як автоматично змінити нумерацію елементів (позиційних номерів) у випадку додавання чи видалення елементів на схемі?
4. Як відображаються виводи живлення аналогових мікросхем і цифрових?
5. Як вимкнути відображення координатної сітки на схемі?

7.6 Оформлення звіту

Титульний лист: номер роботи варіант та ПІБ студента.

Тема, мета, завдання згідно варіанту.

Хід виконання роботи (покроковий опис, з поясненням вибраних опцій).

Висновки щодо можливостей та функціоналу САД-систем у проектуванні принципових електричних схем та електронних систем взагалі.

Посилання на використану літературу чи мережеві ресурси.

Література

1. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
2. Основні вимоги до оформлення атестаційних робіт, дипломних та курсових проектів: методичні рекомендації для студентів усіх форм навчання факультету електроніки / Укладачі: В.В. Макаренко, К.О. Трапезон, А.М. Чермянін. - К.: ФЕЛ НТУУ “КПІ”, 2006. – 112 с.

1. Графическое изображение электро-радиосхем: Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – К.: Техніка, 1987. – 120 с., ил.

Лабораторна робота №8

Дослідження роботи цифро-аналогових перетворювачів та пристроїв вибірки-зберігання

8.1 Теоретичні відомості

8.1.1 Пристрої вибірки-зберігання

Призначення пристроїв вибірки-зберігання (GDP) – дискретизація аналогових сигналів у часі й запам'ятовування напруги для наступної обробки в АЦП. Являє собою пристрій, який має вхід і вихід аналогового сигналу, а також вхід керуючого сигналу. Він має два стійкі режими роботи. У режимі вибірки (або спостереження) вихідний сигнал з максимально можливою для конкретного пристрою швидкістю досягає значення вхідного сигналу й потім відслідковує його доти, поки не прийде команда на зберігання. З цього моменту ПВЗ буде зберігати попереднє значення вхідного сигналу.

На рис. 8.1. представлена функціональна схема найпростішого ПВЗ розімкнутого типу.

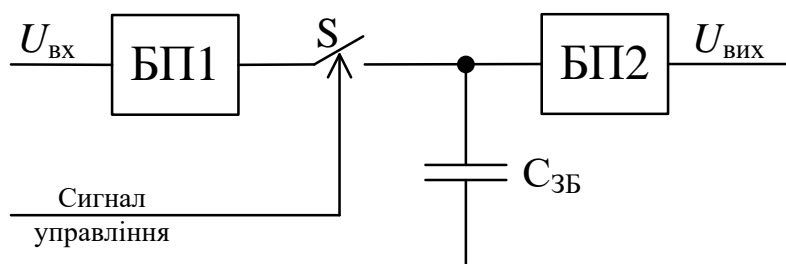


Рисунок 8.1 – Функціональна схема розімкнутого ПВЗ

Вхідний сигнал через буферний підсилювач (БП1) з коефіцієнтом підсилення $K = 1$ надходить на вхід аналогового ключа S . До виходу аналогового ключа підключений конденсатор $C_{ЗБ}$, який виконує функцію елемента зберігання, і через БП2 – вихід пристрою. На другий вхід аналогового ключа (управління) подається сигнал управління. Розмикання й замикання ключа визначається рівнями сигналу управління. По рівню сигналу управління ПВЗ сумісні зі стандартними логічними рівнями (звичайно із ТТЛ). Логічна “1”, як правило, відповідає режиму “вибірка”, а логічний “0” - режиму зберігання. Часові діаграми роботи ідеалізованого ПВЗ показані на рис. 8.2.

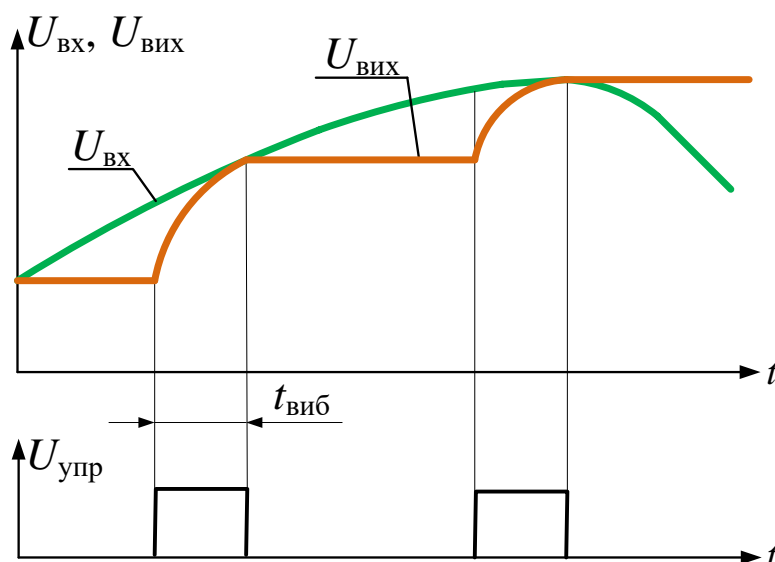


Рисунок 8.2 – Часові діаграми роботи ПВЗ

При подачі на вхід управління імпульсу управління вибіркою ключ замикається, і конденсатор СЗБ заряджається через малий внутрішній опір БП1 і ключа S від джерела вхідного сигналу. БП1 виключає вплив внутрішнього опору джерела сигналу на час заряду конденсатора. Щоб конденсатор не розряджався при переході з режиму вибірки в режим зберігання через опір навантаження (пристрою підключеного до виходу ПВЗ) призначений БП2, вхідний опір який повинен бути великим. Тоді розряд конденсатора на інтервалі зберігання буде малий і напруга на конденсаторі буде змінюватися незначно.

У реальних ПВЗ вихідний сигнал може суттєво відрізнятися від ідеального, що зумовлено недосконалістю пристрою і його похибками. Виникають похибки зберігання, обумовлені струмами витоку розімкнутого ключа, вхідними струмами буферного підсилювача (БП2), струмами саморозряду конденсатора. Крім того, через наявність напруги зсуву виникає постійна складова вихідної напруги ПВЗ. Вихідна напруга реального ПВЗ показана на рис. 8.3.

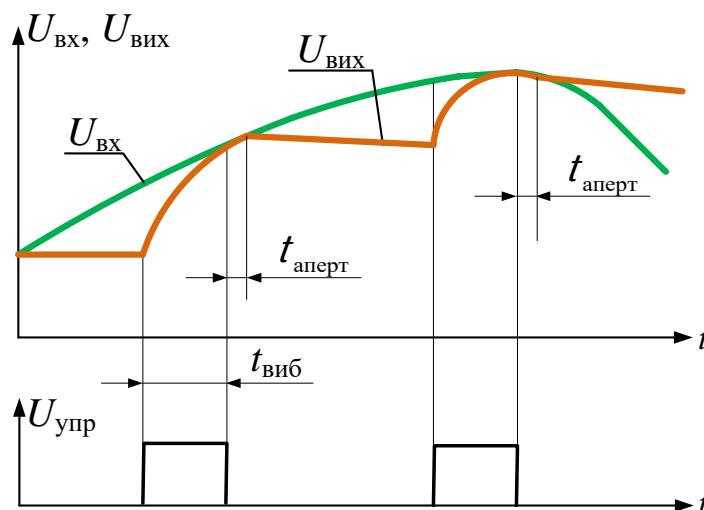


Рисунок 8.3 – Вхідний і вихідний сигнали в реальному ПВЗ

У реальних ПВЗ після закінчення імпульсу вибірки ключ закривається не відразу, а якийсь час його опір змінюється від мінімального до максимального. У цей час, називаний апертурним, на виході ПВЗ напруга змінюється й зберігається невизначеність між вхідною і вихідною напругами. Розімкнута схема ПВЗ забезпечує точність роботи достатню для використання з 8...10 розрядними АЦП.

Для зменшення похибок вибірки й зберігання використовують замкнені ПВЗ, функціональна схема якого показана на рис. 8.4. Застосування диференційного підсилювача на вході, що реалізований на операційному підсилювачі (ОП1) й загального негативного зворотного зв'язку дозволяє компенсувати напругу зсуву вихідного буферного підсилювача й збільшити точність відслідковування в режимі вибірки. Схема дозволяє реалізувати коефіцієнт передачі $K_{\text{пер}}=1$. Така схема забезпечує точність достатню для роботи з 12 розрядними АЦП. Більш складні схеми, що дозволяють збільшити точність роботи можна знайти в [1].

Порівнюючи замкнену й розімкнуту схеми ПВЗ, слід зазначити, що швидкодія розімкнених ПВЗ вище, хоча нелінійність амплітудної характеристики, помилка відслідковування й напруга зсуву більше. В інтегральному виконанні випускалась ПВЗ типу КР1100СК2 (SMP04 – Analog Devices, LF398 – National Semiconductor), функціональна схема якої наведена на рис. 8.5.

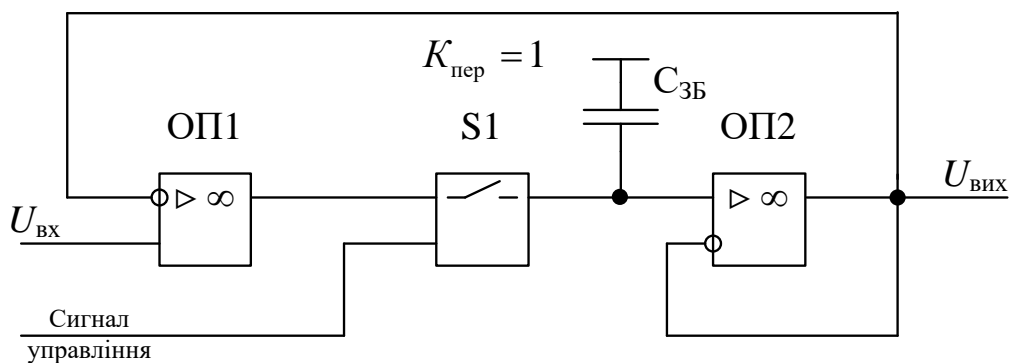


Рисунок 8.4 – Функціональна схема замкнутого ПВЗ

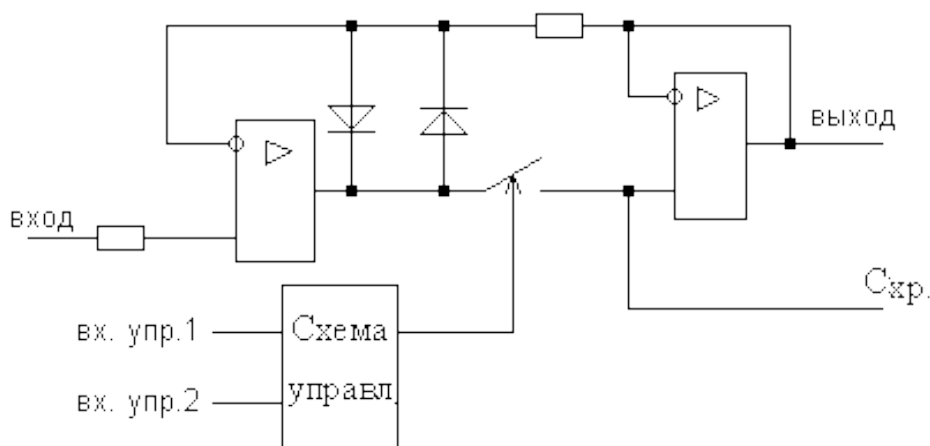


Рисунок 8.5 – Функціональна схема КР1100СК2

Параметри КР1100СК2 при $C_{ЗБ}=1000$ пФ, $t_{виб} = 5...10$ мкс, $U_{ВХ.}=10$ В наступні: похибка перетворення $\varepsilon = 0.1\%$; $t_{аперт} = 0.1...0.25$ мкс; $K_u=1$; $U_{ЗМ}< 5$ мВ; швидкість наростання вихідної напруги 0.2 В/мкс.

8.1.2 Цифро-аналогові перетворювачі

Найбільш широке поширення одержали ЦАП, побудовані на основі “вагових” резисторів (рис. 6) і на основі резистивної матриці R-2R (рис. 7).

У першому з них код, сформований на виході джерела цифрової інформації, замикає (при наявності рівня логічної 1) або розмикає (при наявності рівня логічного 0) ключі, які підключають до входу, що інвертує підсумовуючого підсилювача резистори з вагою $8R$ для молодшого розряду, $4R$ – для другого, $2R$ – для третього й R – для старшого розряду.

Таким чином, при підключенні молодшого розряду на виході підсилювача формується напруга $U_{вих} = U_{оп}/8$, другого розряду $U_{вих} = U_{оп}/4$ і т.д.

Недоліком такої схеми є великий розкид номіналів вагових резисторів, що затруднює їх виготовлення з високою точністю. Крім того, ключі, використовувані в ЦАП, мають кінцевий опір у замкненому стані, і слід урахувати їх і можливі відхилення опорів цих ключів. Внесок у вихідну напругу молодших розрядів зменшується у два рази при зменшенні номеру розряду на 1. Тому вимоги, до точності й стабільності резисторів, встановлених у молодших розрядах, менші ніж до параметрів резисторів старших розрядів. Як правило, такі ланцюжки вагових резисторів не роблять більше ніж для 4-х розрядів, а при створенні ЦАП більшої розрядності з'єднують такі 4-х розрядні блоки певним чином [2].

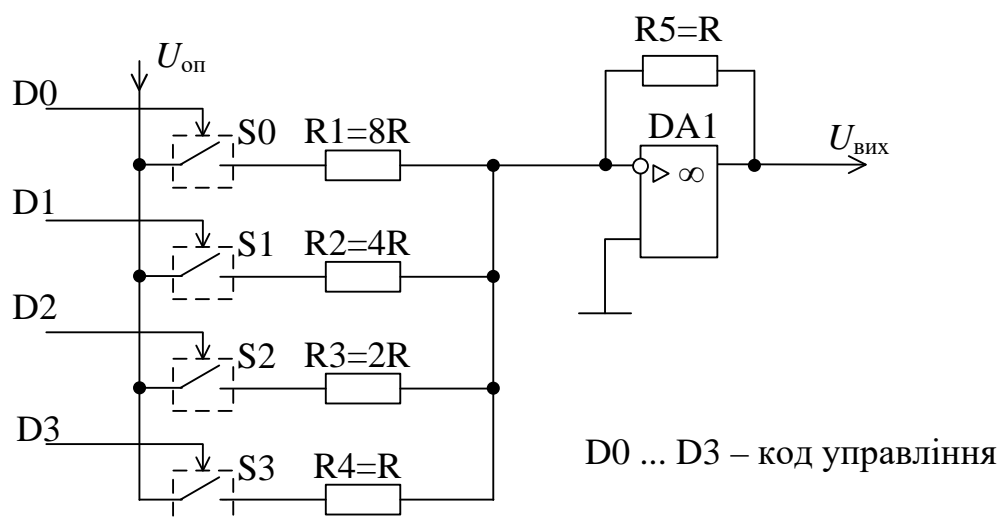


Рисунок 8.6 – Функціональна схема 4-х розрядного ЦАП на основі вагових резисторів

ЦАП з ланцюжком резисторів R-2R (рис. 7) виключає перелічені вище складності ціною включення додаткового резистора в кожному розряді. Така схема має високу швидкість, надійність і легко реалізується за допомогою інтегральної технології. У цій схемі не потрібен широкий діапазон номіналів резисторів. Використовується всього два номінали R і $2R$, що дозволяє виготовити їх з високою точністю.

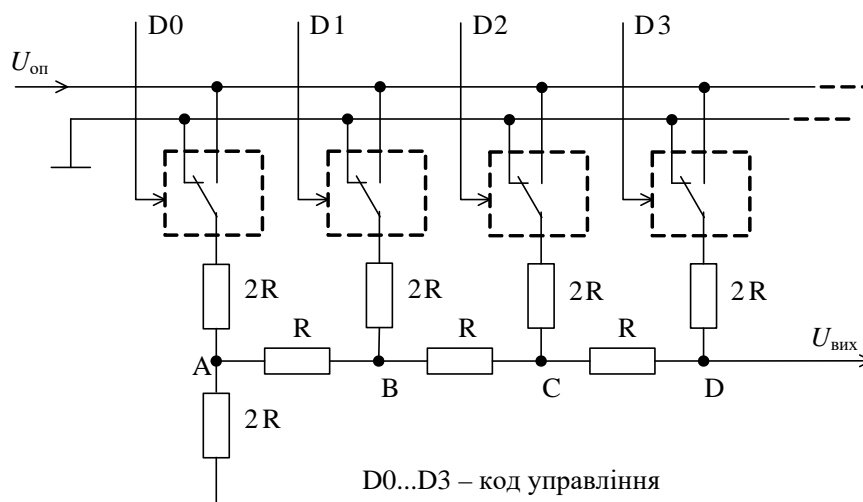


Рисунок 8.7 – Функціональна схема 4-х розрядного ЦАП з матрицею R-2R

Для обох видів ЦАП для збільшення точності й стабільності застосовується лазерна підгонка резисторів.

8.2 Мета роботи

Ознайомитись з принципами роботи цифро-аналогових перетворювачів та пристроїв вибірки-зберігання.

8.3 Завдання

8.3.1 Завдання 1

Дослідити роботу пристрою вибірки зберігання розімкненого типу (рис. 8.8).

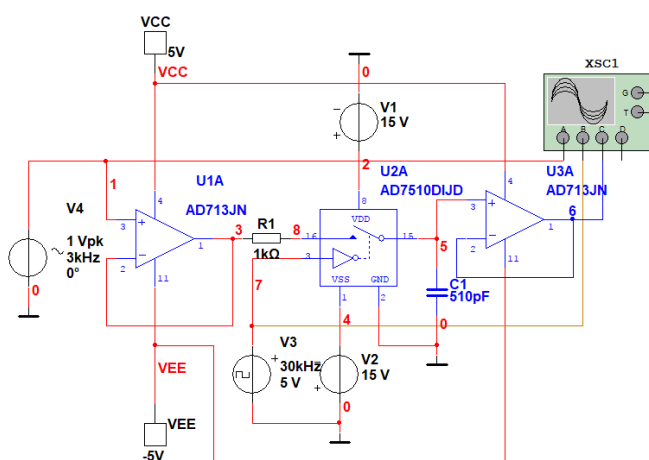


Рисунок 8.8 – Пристрій вибірки-зберігання розімкненого типу

Для дослідження завантажити файл [ПВ3_розімкненого типу.ms10](#).

8.3.2 Завдання 2

Дослідити роботу ЦАП з ваговими резисторами (рис. 8.9).

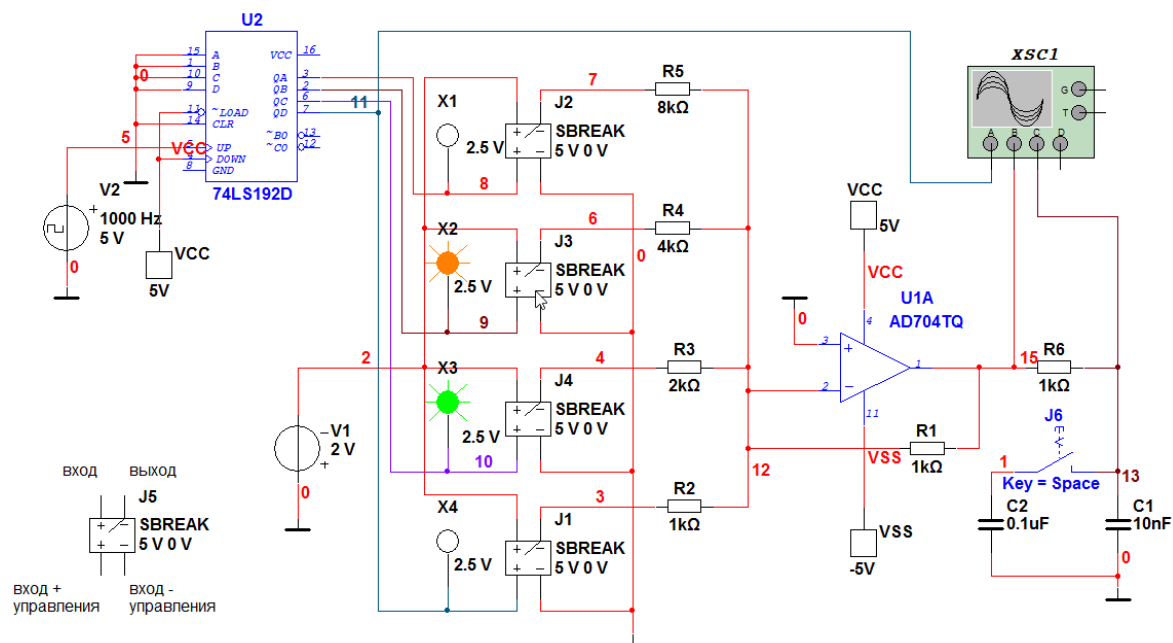


Рисунок 8.9 – ЦАП з ваговими резисторами

Для дослідження завантажити файл [ПВ3_розімкненого типу.ms10](#).

8.3.3 Завдання 3

Дослідити роботу ЦАП з ваговими резисторами (рис. 8.10).

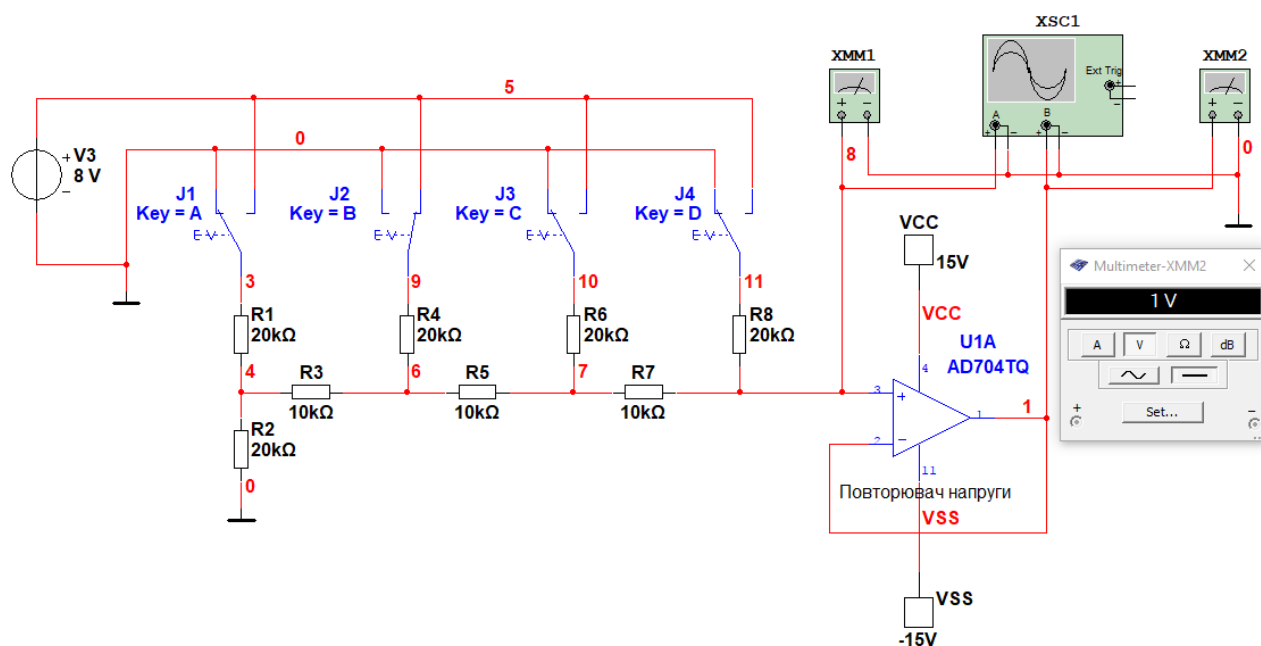


Рисунок 8.10 – ЦАП з матрицею R-2R

Для дослідження завантажити файл ЦАП з матрицею R-2R.ms10.

8.4 Порядок виконання роботи

8.4.1 Завдання 1. При дослідженні виконати наступні пункти:

1. Зменшити частоту дискретизації (генератор V3) з 30 кГц до 7 кГц. Порівняти форму дискретизованого сигналу при різних частотах дискретизації (зробити скріншоти з екрану осцилографа).
2. Виміряти апертурний час при частоті дискретизації 30 кГц і ємності конденсатора C1 рівній 510 пФ при різних значеннях опору резистора R1 – 1 кОм і 1 Ом.
3. Замінити конденсатор ємністю 510 пФ на конденсатор ємністю 5100 пФ. Порівняти результати роботи ПВЗ при різних значеннях ємності, зробивши скріншоти з екрану осцилографа при різних значеннях ємності конденсатора і при різних значеннях опору резистора R1 – 1 кОм і 1 Ом.
4. Пояснити чому виникає така різниця у формі сигналів.

8.4.2 Завдання 2. При дослідженні виконати наступні пункти:

При дослідженні виконати наступні пункти:

1. Контролюючи значення коду на виході лічильника за допомогою індикаторів X1...X4 спостерігати на осцилографі сигнал на вході В (червоного кольору). Пояснити чому на вихідній напрузі операційного підсилювача U1A спостерігаються короткі викиди напруги.
2. Контролюючи сигнал на вході С (коричневий) зафіксувати форму сигналу при розімкненому перемикача J6 і при замкненому. Пояснити яку функцію виконує коло R6, C1 (R6, C2) і чому спостерігається така різниця форми сигналу.
3. Пояснити який лічильник використовується для формування коду управління ЦАП – підсумовуючий чи віднімаючий. Яким чином Ви це встановили?

8.4.3 Завдання 3. При дослідженні виконати наступні пункти:

При дослідженні виконати наступні пункти:

1. Встановити перемикачі J1...J4 в ліве положення і виміряти напругу на вході та виході операційного підсилювача.
2. Перевести перемикач J1 в праве положення і виміряти ті ж напруги. Повторити те ж саме (повернувши перемикач J1 в ліве положення) для перемикача J2. Повторити аналогічні вимірювання для перемикачів J3 і J4.

8.5 Контрольні запитання

1. Чи залежить апертурний час від внутрішнього опору ключа у ПБЗ?
2. Який параметр змінюється при збільшенні внутрішнього опору аналогового ключа у GDP (роль внутрішнього опору виконує резистор R1).
3. Як впливає ємність конденсатора на параметри ПБЗ?
4. Пояснити чому на вихідній напрузі операційного підсилювача U1A в ЦАП з ваговими резисторами спостерігаються короткі викиди напруги.
5. Пояснити яку функцію виконує коло R6, C1 (R6, C2) і чому спостерігається така різниця форми сигналу в ЦАП з ваговими резисторами.

6. Пояснити який лічильник використовується в ЦАП з ваговими резисторами для формування коду управління ЦАП – підсумовуючий чи віднімаючий. Яким чином Ви це встановили?

7. Яка напруга буде сформована на виході ЦАП з матрицею R-2R при замиканні ключів J1 і J3 одночасно, при замиканні всіх ключів одночасно?

8. Яким чином можна збільшити максимальну напругу на виході ЦАП з матрицею R-2R (нічого не змінюючи в самій матриці) до 5 В?

8.6 Оформлення звіту

Титульний лист: номер роботи варіант та ПІБ студента.

Тема, мета, завдання згідно варіанту.

Хід виконання роботи (покроковий опис, з поясненням вибраних опцій).

Висновки щодо можливостей та функціоналу САД-систем у проектуванні принципових електричних схем та електронних систем взагалі.

Посилання на використану літературу чи мережеві ресурси.

Література

1. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз: навч. посібник / В.В. Макаренко, В.М. Співак. – К.: Кафедра, 2017. – 314 с. [Електронний ресурс]. Url: <http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19099/4/SpivakTsifrova.pdf>.
2. Програмні засоби проектування: Навч. посіб. / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9.78 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с. Url: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23375>.

Електронне мережне навчальне видання

Макаренко Володимир Васильович, канд. техн. наук, доц.

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ**Лабораторний практикум****ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС**

Програмні засоби проектування. Лабораторний практикум: Електронний ресурс: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" спеціалізації "Електроніка" спеціалізації "Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей" / В.В. Макаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5.33 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 122 с.

У навчальному посібнику наведені теоретичні відомості та методика дослідження пристроїв цифрової та аналогової техніки, правила та приклади оформлення структурних та функціональних схем, правила та приклади створення бібліотек елементів та принципових схем радіoeлектронних пристроїв за допомогою програм моделювання, векторної графіки та системи автоматизованого проектування Orcad.

Створення структурних і функціональних схем, а також інших креслень, розглядається на прикладах з використанням програми Visio, а моделювання радіoeлектронних пристроїв – за допомогою програми NI Multisim. Наведені приклади моделей для дослідження цифрових та аналогових електронних пристроїв за допомогою програми Multisim.

The tutorial provides theoretical information and methods of research of digital and analog devices, rules and examples of design of structural and functional schemes, rules and examples of creating libraries of elements and schematic diagrams of electronic devices using simulation programs, vector graphics and computer-aided design Orcad.

The creation of structural and functional diagrams, as well as other drawings, is considered by examples using the Visio program, and the modeling of electronic devices using the NI Multisim program. Examples of models for the study of digital and analog electronic devices using the program Multisim.

В учебном пособии приведены теоретические сведения и методика исследования устройств цифровой и аналоговой техники, правила и примеры оформления структурных и

функциональных схем, правила и примеры создания библиотек элементов и принципиальных схем радиоэлектронных устройств с помощью программ моделирования, векторной графики и системы автоматизированного проектирования Orcad.

Создание структурных и функциональных схем, а также других чертежей, рассматривается на примерах с использованием программы Visio, а моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI Multisim. Приведены примеры моделей для исследования цифровых и аналоговых электронных устройств с помощью программы Multisim.

